

筑波大学

陸域環境研究センター報告

第 6 号
2005

序	田 中 正	1
報 文		
微気象学的スケールにおける大気水蒸気同位体組成の空間構造	清 水 亮 介	3
	山 中 勤	
超音波風速温度計と熱電対温度計による 潜熱輸送量の簡単な評価方法	花 房 龍 男	11
	青 島 来 武 靖	
台座岩から推定される石灰岩地表面の溶解による低下速度： 喜界島における一例	松 倉 公 憲	17
	前 門 瀬 孝 久 也	
	廣 木 哲	
	青 小 暮	
青島砂岩の塩類風化速度に与える間隙率の影響に関する一実験	山 本 まりえ	23
	青 松 本 倉 公 憲	
研究ノート		
大谷石からなる風化岩盤の表面の強度に関する非破壊測定法： エコーチップ硬さ試験機と赤外線水分計を利用した例	青 木 久	33
	佐々木 智 也	
	松 倉 公 憲	
遷移過程のアカマツ二次林における植物種間の根系分布の差異	山 中 勤	39
	松 尾 大 悟 翠	
	矢 野 張 順 真 一 司 介 正	
	角 飯 田 井 水 中	
	浦 清 田	

(目次-つづく)

筑波大学陸域環境研究センター

2005年11月

(目次-つづき)

陸域環境研究センターにおける蒸発散量推定法の検討	藪崎志穂 田瀬則雄 萩野谷成	45
ウェイングラシメータによる蒸発散量長期観測データの解析と クオリティーコントロール	齊藤誠 山中	53
資 料		
熱収支・水収支観測資料 -2004年-	渡来靖 山中	63
水理実験センター報告、陸域環境研究センター報告の WWWでの公開について	目代邦康 塩澤 曉子	89
セミナーの記録		93
文献リスト		107
その他		112

序

平成 16 年度からの法人化の施行により、陸域環境研究センターは生命環境科学研究科の関連センターに位置付けられることになりました。これに伴い、本年度当初はセンター運営に関わる「細則」、「教員人事選考手続」、「教員選考基準」、「利用内規」等の制定準備に多大の労力が費やされましたが、これら諸規則の制定により、新たな組織体制の下での本格的な運営が 6 月から開始されました。

年度当初に作成した教育計画、「センター施設を利用した陸域環境に関する教育を推進する」に関しては、学群生 9 名、大学院生 16 名が本センター施設を利用し、卒業論文 9 編、修士論文 8 編、博士論文 1 編が作成されました。研究テーマとして、観測圃場および周辺域における水蒸気同位体組成の空間分布構造、植生遷移が地下水涵養プロセスに及ぼす影響、フラックス観測における低周波変動の寄与、都市気候に関する野外観測、波と流れとの共存下における砂床形の形成に関する大型水路実験など、陸域環境に関する多様な教育・研究が実施されました。また、研究計画における「陸域環境に関わる国際プロジェクト研究の推進」については、科学技術振興事業団戦略的創造推進事業プロジェクト (CREST)、文部科学省総合地球環境学研究所プロジェクト、地球環境研究総合推進費 (GERF) による炭素収支研究プロジェクト、科学研究費成果公開促進費による GAME - AAN データベースをそれぞれの関係機関と密接な連携をとりつつ推進しました。CREST の RAISE プロジェクト (北東アジア植生変遷域の水循環と

生物・大気圏の相互作用の解明) に関しては、11 月に本学で開催された第 3 回「国際ワークショップ」を共催しました。

本センターの中期計画については、昨年度取りまとめを行った「センター中期計画中間報告書」に基づき、これまでの中期計画を見直すとともに、第二次中期計画の策定を行いました。また、概算要求事項内容の再検討を行い、関連 6 センターとともに組織整備計画として前期博士課程「国際フィールド環境科学専攻」(仮称) 新設の要求を行いました。この他、研究推進経費、特別支援事業に関わる概算要求も合わせて行いました。

人事面では、4 月 1 日付けで準研究員として渡来 靖氏が着任しました。本センターの創設以来 30 有余年にわたり、大型実験水路を用いた河川地形学の研究をはじめとして、広く地形学、地理学の研究と教育に貢献されてきました池田 宏先生が本年 3 月、定年により退職されることになりました。また、研究機関研究員の濱田洋平氏、研究支援推進員の塩澤暁子さんが共に本年度 3 月末で退職されることになりました。

本年度からの法人化の施行により、センターを取り巻く学内外の状況には厳しいものがあります。関係各位におかれましては本センターの研究活動をご理解いただき、より一層のご指導ご助言を賜れば幸いです。

平成 17 年 3 月
陸域環境研究センター長
田 中 正

微気象学的スケールにおける 大気水蒸気同位体組成の空間構造

The Spatial Structure of Isotopic Composition of Atmospheric Water Vapor at Micrometeorological Scale

清水 亮介*・山中 勤**

Ryosuke SHIMIZU* and Tsutomu YAMANAKA**

I はじめに

豪雨や早魃などの自然災害を引き起こす降水量変動機構の解明には、大気中の水循環過程、特に降水の起源となる水蒸気の輸送経路や供給源に関する知見が不可欠である。大気中の水循環をトレースする上で、水の安定同位体は有力なツールであり、近年さまざまな研究が行われてきた。山中ほか(2001)は関東平野の夏期の対流性降雨における同位体組成の空間分布特性が、異なる起源(すなわち、海洋起源と陸域起源)の水蒸気の混合によってもたらされている可能性を指摘した。しかし、水蒸気同位体組成の空間分布の実測は行われていない。

大気水蒸気同位体は Yakir and Wang (1996) による“Keeling plot”を用いた解析以降、主に蒸発散フラックスの成分分離を目的として使用されてきている。例えば、Moreira *et al.* (1997) ではアマゾン川流域内の植生の異なる環境下(草地と森林)で水蒸気のサンプリングを行い、その同位体組成から大気中への水蒸気輸送のほとんどが蒸散によるものであるという結果を導き出した。

また、He and Smith (1999) は航空機を用いて大気境界層内外の水蒸気サンプリングを行い、蒸発散によって森林から大気へ供給される水蒸気同位体組成を推定した。綱川・山中(2005)では蒸発散フラックスにおける蒸散の寄与が、LAIの上昇とともに増大することを示した。しかし、いずれの研究も鉛直次元の水蒸気輸送に焦点を当てているものであり、三次元的な分布や混合プロセスに言及した研究は例を見ない。

そこで本研究では、関東平野の降水における陸域起源水蒸気同位体組成の寄与を明らかにするための基礎研究として、大気水蒸気同位体組成の土地被覆による違いや、水蒸気混合プロセスについての考察を行うことを目的として、複数の地点配置で水蒸気のサンプリングを行った。

II 研究方法

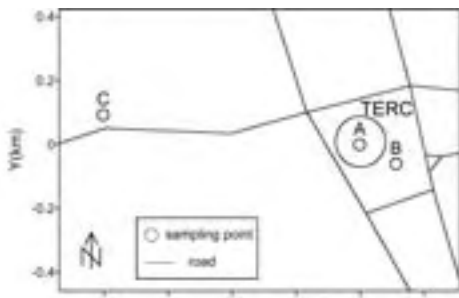
1. サンプリング地点

同位体分析のための水蒸気サンプリングは2つの地点配置で行った(第1図)。気象学の一般的なスケール区分によれば、これらの空間スケ-

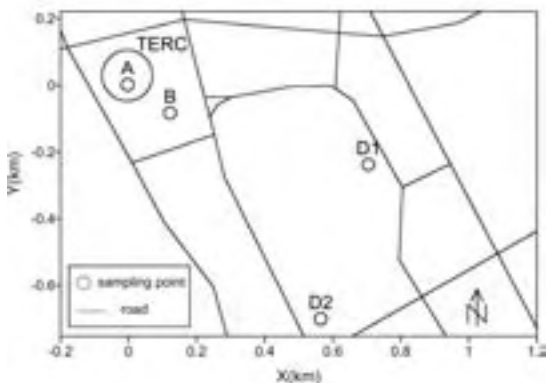
* 筑波大学生命環境科学研究科大学院生

** 筑波大学陸域環境研究センター

ルはマイクロスケールに分類される (Orlanski, 1975). ここでは便宜上これらの地点配置をそれぞれマイクロスケール a 及びマイクロスケール b と呼ぶ. マイクロスケール a (第 1 図 a) でのサンプリングは, 主に鉛直方向のデータを充実させることを目的とし, 筑波大学陸域環境研究センター (以下 TERC) の草地タワー (3 高度: 1 m, 12 m, および 30 m), 松林タワー (2 高度: 1 m および 26 m) 及び近隣の水田 (高度 1 m) で行った. マイクロスケール b (第 1 図 b) では TERC の 2 地点に加えて, 筑波大学の研究棟 (総合研究棟 A 及び自然系学系棟 B 棟) の屋上でサンプリングを行った. マイクロスケール b を考慮したのは, より高い高度での空間分布データを充実させるためである.



第1図a



第1図b

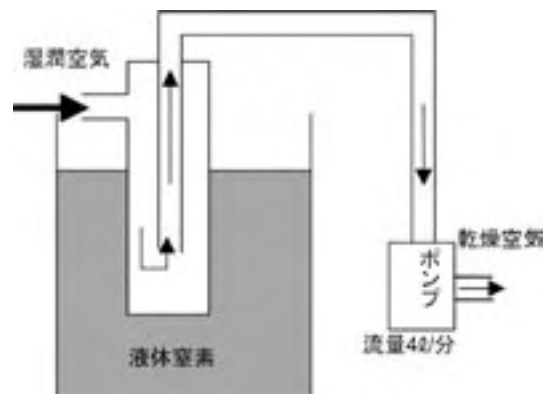
第 1 図 サンプリング地点配置
(A: 草地タワー, B: 松林タワー, C: 水田, D1: 総合研究棟 A 棟, D2: 自然系学系棟 B 棟)

2. サンプリングと同位体分析

水蒸気のサンプリングは低温凝結法 (綱川・山中, 2005) を用いて行った. 実験に供した装置の模式図を第 2 図に示す. エアーポンプ (SIBATA: MP-2N) によって空気を吸引し, その中に含まれる水蒸気を液体窒素 (-196°C) で冷却したトラップ管内に凝結させ, 採取した. 低高度でのサンプリングは地上 1 m に統一し, 三脚で吸引用チューブを固定した. TERC の草地タワーと松林タワーについては, チューブをタワー上部まで引き上げ, 地上で空気を吸引して水蒸気を捕捉した. 他の高高度サンプリングについては, 屋上に三脚を設置し, 地上 1 m と同様にサンプリングを行った.

水蒸気サンプリングと同時に, 気温と湿度の測定を併せて行った. ポンプ (EMP: CM-15) によって通風する密閉容器の中に, 温湿度計付きのデータロガー (Onset: HOBO RHTemp) を入れ, 気温と相対湿度を 1 分間隔で測定した. これらの測定値から水蒸気混合比を計算した.

A 地点ではサンプリング実施日に土壌水のサンプリングを行った. 土壌水は表層 3 cm の土壌をスコップで 100 cc ほど採取し, 遠心分離法によって土壌水を抽出した. 遠心分離は pF4.3 相当の回転数で 2 時間行った. 土壌の乾燥状態により, この方法では抽出できないものもあったが, それに



第 2 図 水蒸気トラップ装置模式図

については欠測とした。

採取した水蒸気サンプルと土壌水の同位体組成は、筑波大学大学院生命環境科学研究科の同位体比質量分析計（Thermo Finnigan：MAT252）で測定した。試水の前処理は、水素については白金触媒を用いた水素ガス平衡法、酸素については二酸化炭素平衡法によって行った。なお、測定結果は標準平均海水 V-SMOW からの千分率偏差、すなわち δ 値表記を用いて記述する。同位体分析の誤差は、 δD で $\pm 1\%$ 、 $\delta^{18}O$ で $\pm 0.1\%$ である。綱川・山中（2005）では低温凝結法によって採取された水蒸気の $\delta^{18}O$ の精度に問題があることが報告されているため、以下の解析では主に δD の値を使用して行った。

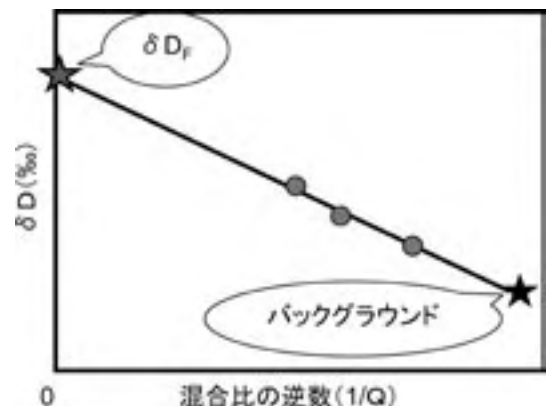
サンプリングの実施日と採取時間帯をまとめて第 1 表に示す。なお草地タワーの水蒸気混合比を計算するため、陸域環境研究センターのルーチン観測データから、3 高度（1.2 m, 12.0 m, 29.5 m）の気温と相対湿度、および気圧のデータを使用した（URL: <http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/hojyo/Japanese/database.html>）。

第 1 表 サンプリング日時一覧

番号	日付	開始時刻	終了時刻
1	2004 年 4 月 16 日	11:30	13:00
2	4 月 16 日	14:30	16:00
3	4 月 26 日	14:00	16:00
4	6 月 10 日	14:00	15:30
5	6 月 14 日	15:00	16:30
6	6 月 24 日	14:30	16:00
7	7 月 1 日	14:00	15:00
8	7 月 19 日	12:00	13:30
9	7 月 22 日	11:00	12:00
10	7 月 22 日	12:00	13:00
11	7 月 26 日	11:00	12:00
12	7 月 26 日	12:00	13:00
13	8 月 6 日	11:00	12:00
14	8 月 6 日	12:00	13:00
15	8 月 10 日	11:00	12:00

3. 解析方法

水蒸気の起源や混合様式を把握するため、Keeling plot (Keeling, 1961; Yakir and Wang, 1996) を用いた解析を実施した。この解析手法は、He and Smith (1999) によって示された Mixing Line Method と導出の過程は異なるものの、本質的には同じ解析手法であり、陸域から大気への水蒸気フラックス（蒸発散フラックス）の同位体組成 (δF) を求めることができる。具体的には、複数点での水蒸気の同位体組成 (δ) と水蒸気混合比 (Q) を求め、それを $\delta-1/Q$ のダイアグラムにプロットする（第 3 図）。この手法では、バックグラウンド大気（概ね混合層もしくはそれ以上の大気層に相当）にもともと存在する水蒸気（以下、バックグラウンド水蒸気）と地表面からの蒸発散フラックスによって新たに供給される水蒸気（以下、ローカルソース水蒸気）とが混合する過程を想定しており、バックグラウンド水蒸気の同位体組成が広域的に一様であり、かつローカルソース水蒸気が同位体的に 2 種類存在する場合、地表付近の大気水蒸気のデータは図のように 2 つの傾向線上もしくはその間にプロットされ、その傾向線を外挿して得られる Y 切片の値が δF となる。

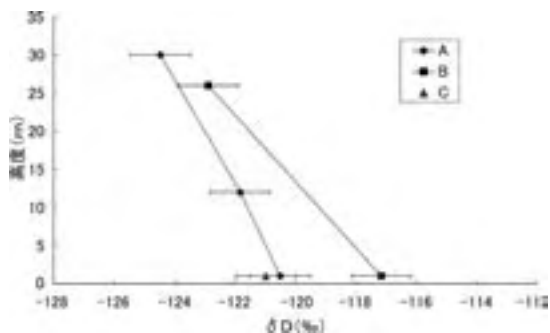


第 3 図 Keeling plot の模式図

III 結果と考察

1. 異なる土地被覆上での鉛直分布

マイクロスケール a では計 4 回の水蒸気サンプリングを行った。代表として 2004 年 6 月 10 日の δD 鉛直プロファイルを示す。他の観測結果とも共通して言えることは、高度が大きくなるにつれて δ 値が低下するということである。一般に、水蒸気が凝結や降水によって取り除かれる場合は、同位体的に重い水蒸気が優先的に取り除かれるため、水蒸気同位体組成は上空にいくほど軽い (He and Smith, 1999)。本研究の結果もこの傾向が顕著に現れている。地上 1 m に注目すると、草地と水田はよく一致しているが、松林は草地と 150 m 程度しか離れていないにもかかわらず値が異なっている。このような結果は乱流混合の違いによるものと考えられる。すなわち、草地や水田のように周囲が開けている環境では周囲や上空との水蒸気混合が起りやすいが、松林のキャノピー内部は外部との混合が起りにくい。このため、松林のキャノピー内では水蒸気同位体組成が異なると考えられる。一方、キャノピーの上 (高度 26 m) の水蒸気同位体組成は、草地 30 m のものとおおむね一致し、よく混合されていると考えることができる。

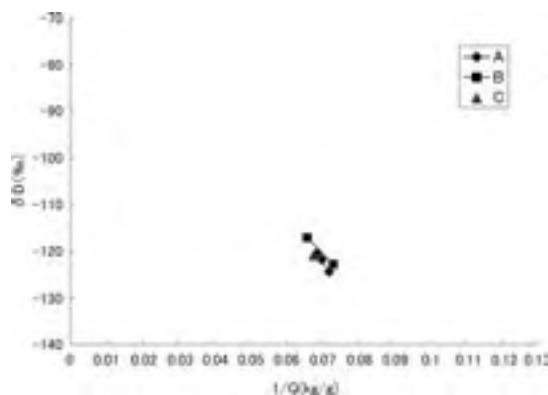


第 4 図 マイクロスケール a における δD の鉛直プロファイル (6/10)
(A: 草地タワー, B: 松林タワー,
C: 水田)

6 月 10 日の測定データを用いた Keeling plot を第 5 図に示す。なお、Keeling plot の横軸は混合比の逆数を取っているため、相対的に水蒸気量が多い低高度のデータは左寄りにプロットされる。全てのデータが概ね一直線状にプロットされており、同位体組成が一般的なバックグラウンド大気中の水蒸気と同位体的に均質な地表面起源の水蒸気とが混合することによって、地上付近の大気水蒸気同位体組成が決定されていることがうかがえる。ここで、松林内の高度 1 m におけるデータに注目してみると、やや左上にシフトしているように見える。この Keeling plot 上では、右下部にバックグラウンド水蒸気、左上部にローカルソース水蒸気が位置することになるため、上述のシフトはローカルソース水蒸気側に寄っていることになる。以上から、周囲との水蒸気混合が起きにくいような地点では、他の地点と比較してローカルソース水蒸気を多く含み、その同位体組成に近くなることが示唆された。

2. 高高度での空間分布特性

マイクロスケール b でのサンプリングにおける δD の鉛直プロファイルを示す。その結果を見ると、多少の差異はあるものの、ほぼ同位

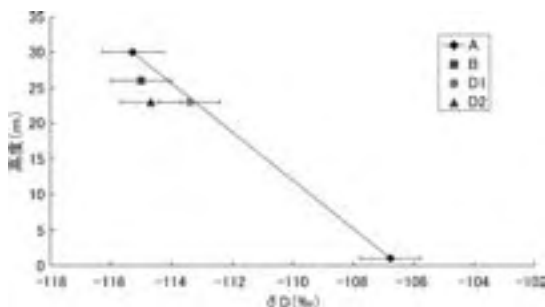


第 5 図 マイクロスケール a の Keeling plot (6/10)
(A: 草地タワー, B: 松林タワー,
C: 水田)

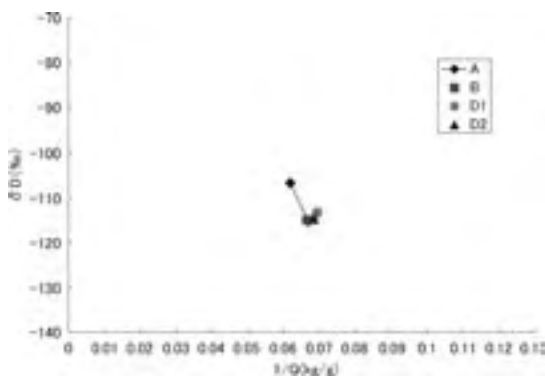
体分析の誤差範囲内で高高度の δD 値が一致している。また同実験についての Keeling plot (第7図) では、プロット全体がほぼ一つの直線上に位置している。これらの特徴は少なくとも 20 m 以上の高度においては同位体組成の空間的差異が小さくなるとともに、バックグラウンド水蒸気と同位体的な一様性が保たれている結果であると考えられる。

3. マイクロスケールにおけるバックグラウンド水蒸気とローカルソース水蒸気

A 地点ではすべてのサンプリング実施日において高度 1 m と 30 m での水蒸気サンプリングが行われている。それぞれの高度の δD 値と土壤水の δ



第6図 マイクロスケール b における δD の鉛直プロファイル (6/24)
(A: 草地タワー, B: 松林タワー, D1: 総合研究棟 A 棟, D2: 自然系学系棟 B 棟)

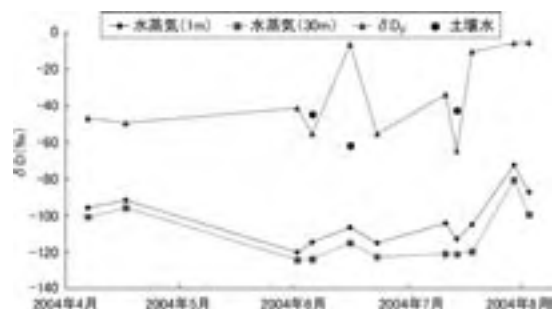


第7図 マイクロスケール b の Keeling plot (6/24)
(A: 草地タワー, B: 松林タワー, D1: 総合研究棟 A 棟, D2: 自然系学系棟 B 棟)

D 値および Keeling plot から求められた蒸発散フラックスの同位体組成 (δD_F) の時系列を第8図に示す。この図において、水蒸気の δD 値に単純な季節変化は見られず、日々変動が大きいことがわかる。地上 1 m の水蒸気は低い高度ではあるが、地上からもたらされた蒸発散フラックスである δD_F 値よりはむしろ 30 m の水蒸気の δD 値に近い。地上 1 m と 30 m の δD 値はほぼ一定間隔で推移しており、たとえ地上 1 m という低い高度であっても、バックグラウンド水蒸気と同位体組成を強く反映するということが分かる。このことから、地上付近の水蒸気におけるこの日々変動は地表面からもたらされた水蒸気の影響ではなく、バックグラウンド水蒸気そのものが同位体組成の異なる気団の流入などにより大きく変動することに原因があると考えられる。

δD_F 値は一部で大きな値を示すものの概ね土壤水の δD 値の変動幅 (-40 ~ -60‰) に収まっている。このことから、実験期間中においては、ローカルソース水蒸気と同位体組成は安定しており、土壤水の値に近いことから同位体分別の起こらない蒸散がソースの水蒸気として常に卓越していることが示唆される。

Keeling plot 解析は外挿によって δD_F 値を推定するため、水蒸気混合比と同位体組成の測定精度によっては δD_F 値を大きく変動させてしまう。7月と8月において大きな δD_F 値を示した原因と



第8図 草地タワー(A 地点) における水蒸気と土壤水の δD と δD_F の時系列

してはサンプリング高度と気温湿度観測高度のずれの影響が考えられる。A 地点では TERC のルーチン観測データの気温湿度を使用して混合比を計算している。サンプリング地点の草地は4月から6月にかけては草丈が低かったが、7～8月になると草の成長によって地上1 mのサンプリング高度が周囲のキャノピーよりも低くなっていた。気温湿度の測定高度は1.6 mでキャノピーの上部であったため、A 地点の1 m 高度においては水蒸気混合比の過小評価があったものと考えられる。1 m 高度における水蒸気混合比の過小評価は Keeling plot 解析において直線の傾きを大きくし、 δD_p 値の過大評価につながる。正確な水蒸気混合比の測定と、観測高度を増やすことでこの問題は解決できる。

IV まとめ

以上の結果をまとめると、微気象学的スケールでは、同位体的に均質なバックグラウンド水蒸気と1種類のローカルソース水蒸気との混合、すなわち鉛直一次元の二成分混合によって地上レベルの大気水蒸気同位体組成が決まる。その際にバックグラウンド水蒸気同位体組成の影響をより強く受ける。また、ローカルソース水蒸気同

位体組成は空間的に均質化されており、地表状態の差異の影響は小さい。そのため2 km 以内のスケールにおいて水蒸気同位体組成は水平方向に大きな差異は示さない。ただし、キャノピー内部のように周囲との水蒸気混合が起こりにくい場合にはバックグラウンド水蒸気の影響が小さくなり、ローカルソース水蒸気の影響が強く反映されることもある(第9図)。

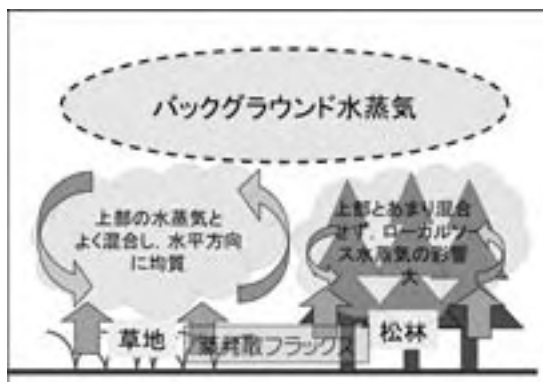
さらに広いスケールについては別報にて論じる予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご助言をいただいた筑波大学水文科学分野の諸先生方に感謝いたします。特に、田中 正教授には TERC 松林タワーの使用を許可していただき、飯田真一博士にはタワーの使用にあたり便宜を図っていただきました。水蒸気サンプリングの遂行にあたっては、教育研究科理科教育コースの綱川明芳氏、自然学類地球科学専攻4年(当時)の涌井久司氏、角張順一氏にお手伝いいただきました。同位体分析については陸域環境研究センターの薮崎志穂氏にご協力、ご助言をいただきました。ここに記し厚く御礼申し上げます。

文献

- 綱川明芳・山中 勤(2005): 安定同位体分析のための大気水蒸気サンプリング手法の信頼性. 水文水資源学会誌, **18**, 306-309.
- 山中 勤・嶋田 純・宮岡邦任(2001): 関東平野における暖候期のイベント降水同位体組成の時空間変動. 日本水文科学会誌, **31**, 123-133.
- He, H. and Smith, R. B. (1999): Stable isotope composition of water vapor in the atmospheric boundary layer above the



第9図 マイクロスケールにおける水蒸気同位体組成の空間構造の模式図

- forest of New England. *J. Geophys. Res.*, **104**, 11657-11673.
- Keeling, C. D. (1961): The concentration and isotopic abundance of carbon dioxide in rural and marine air. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **24**, 277-298.
- Moreira, M., Sternberg, L. da S. L., Martinelli, L. A., Victoria, R. L., Barbosa, E. M., Bonates, L. C. M. and Nepstads, D. C. (1997): Contribution of transpiration to forest ambient vapor based on isotopic measurements. *Global Change Biology*, **3**, 439-450.
- Orlanski, I. (1975): A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **56**, 527-530.
- Yakir, D. and Wang, X. F. (1996): Fluxes of CO₂ and water between terrestrial vegetation and the atmosphere estimated from isotope measurements. *Nature*, **380**, 515-517.
- (2005年5月31日受付, 2005年8月23日受理)

超音波風速温度計と熱電対温度計による 潜熱輸送量の簡単な評価方法

A Simple Method to Estimate the Latent Heat Flux
by a Sonic Anemometer-thermometer
with a Fine Thermometer

花房 龍男*・青島 武*・渡来 靖**

Tatsuo HANAFUSA*, Takeshi AOSHIMA* and Yasushi WATARAI**

Abstract

A simple method to estimate the vertical latent heat flux by a sonic anemometer-thermometer together with a fine thermometer is presented.

An experimental result comparing with the lysimeter's result is proved to be useful for the estimation of the vertical latent heat flux.

I はじめに

接地気層における潜熱の鉛直輸送量を正確に評価するためには、精度の良い安定性のある湿度計の開発が必要不可欠である。赤外線湿度計の開発が進み、成果は挙げられているが、保守管理や検定に多くの手間と困難性があり、必ずしも長期の環境監視には適していない。従って、環境に大きく影響を与える湿度の鉛直輸送量の評価は、間接的に熱収支法や傾度法が採用されている。一方、ライシメータ等を使用して直接蒸発量を得る方法もあるが、装置が複雑で観測場所の移動が容易ではない。

超音波風速温度計で測定される温度は良く知られているように音仮温度 (sound virtual

temperature) と呼ばれ、通常の温度とは異なる。しかし、一般的には両者の差は小さいとして無視している。今回は湿度の影響を考慮し、一般の温度変動と音仮温度の変動から潜熱の鉛直輸送量の評価を行う原理的な方法を示し、その理論式から求めた値とライシメータで評価された蒸発量の比較を行った。

II 音仮温度

超音波風速温度計で測定される温度は湿度の影響を受けた音仮温度を測定する。音仮温度 T_{sv} は次のように定義されている。音速 C は物理法則から次式で与えられる。

* 英弘精機株式会社

** 筑波大学陸域環境研究センター

$$C = \{\gamma RT(1 + 0.51q)\}^{1/2} = (\gamma RT_{sv})^{1/2} \quad (1)$$

q は比湿で、 γR は定数で空気では $403 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$ である。

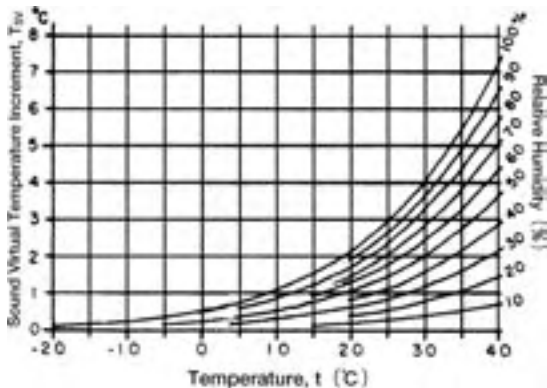
ここで、

$$T_{sv} = T \left(1 + 0.622 \frac{e}{p}\right) = T(1 + 0.51q) \quad (2)$$

従って、超音波温度計で音速の測定から温度を算定しているの、厳密な温度とは区別して、 T_{sv} は仮温度 $\{= T_v = T(1 + 0.61q)\}$ と類似しているの、音仮温度と呼ばれている。(2) 式で大気圧を 1 気圧として、気温と相対湿度がそれぞれ変化した場合に気温 T と音仮温度 T_{sv} の差の変化を示したのが第 1 図である。気温と湿度が小さい場合はその差はほとんど認められないが、気温、湿度が大きくなるにつれてその差も大きくなり、気温 30°C 、相対湿度 50% で約 2°C の差が検出される。この差は通常の温度計で充分検知可能である。

III 超音波風速温度計と細密温度計による潜熱輸送量の測定

(2) 式において $T_{sv} = (1 + aq)$ とおくと、



第 1 図 音仮温度 (T_{sv}) と温度 (T) の差の気温・湿度依存性

$$T_{sv} + T'_{sv} = (\bar{T} + T') (1 + a(\bar{q} + q')) \quad (3)$$

これを展開すると、

$$\bar{T}_{sv} + T'_{sv} = \bar{T} + \bar{T}a\bar{q} + \bar{T}a\bar{q}' + T' + T'a\bar{q} + T'aq' \quad (3)'$$

上式を平均すると、

$$\bar{T}_{sv} = \bar{T} + \bar{T}a\bar{q} + a\bar{q}'\bar{T}' \quad (\because \bar{T}' = \bar{q}' = 0) \quad (4)$$

(3)' 式から (4) 式を引き、高次項を無視すると、

$$T'_{sv} = T' + a\bar{q}'T' + a\bar{q}'\bar{T}$$

両辺に鉛直風速変動 w' を掛けて平均し $a = 0.51$ を代入して整理すると、

$$\overline{w'q'} = 1/\bar{T}_{sv} * [\overline{w'T'_{sv}} - \overline{w'T'} - 0.51\bar{q}'\overline{w'T'}] \quad (5)$$

右辺第一項：超音波風速温度計から求めた鉛直風速と温度変動から算定する。

右辺第二項：熱電対温度計と超音波風速計から算定する。

右辺第三項：熱電対温度計と超音波風速計から求めた値に平均比湿を乗ずる。

以上から残差項として左辺の潜熱の鉛直輸送量が求められることになる。この方法をとれば湿度計無しで簡単に潜熱の鉛直輸送量を求めることが出来る。このような考え方や基礎的実験結果は既に Hignett (1992) や塚本 (1994)、花房 (2001) 等によって報告されている。

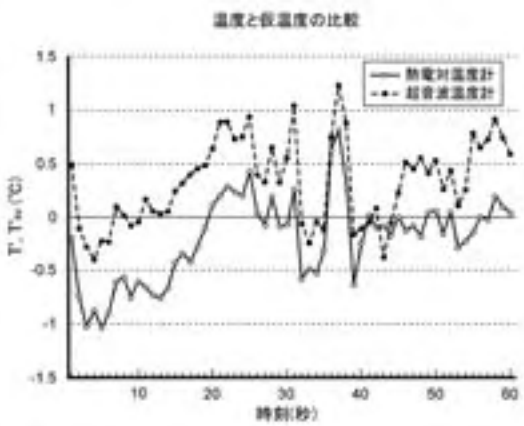
IV 評価実験

(5) 式の妥当性を評価するための野外実験を筑波大学陸域環境研究センター圃場で実施した。直

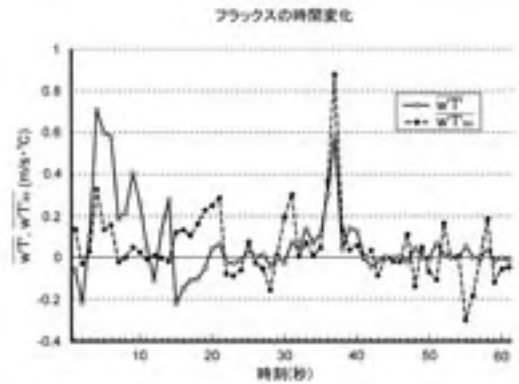
V システム化

前節までの結果から、潜熱の鉛直輸送量が保守管理の難しい湿度計を使用しないで、簡単に求められることが実験的に示された。これを連続的に

算出するシステムの例を第5図に示す。フラックス等の評価時間は、場の定常性などから決定されるもので、結果を見ながら最終的に決定されるものであるが、10分程度が適切と考えられる。



第3図 T_{sv} と T の時間変化の例

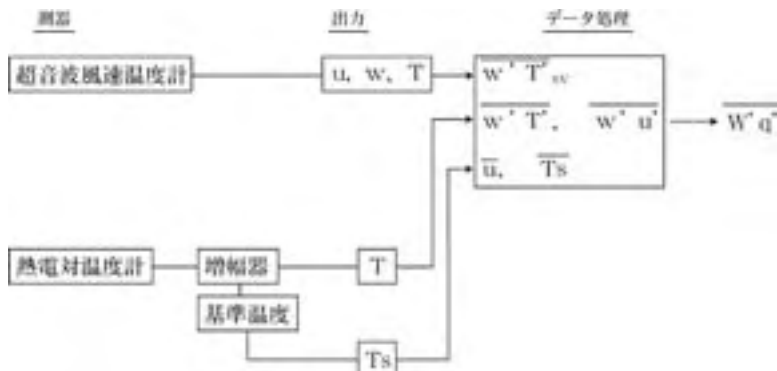


第4図 $\overline{w'T_{sv}}$ (1分間平均値) と $\overline{w'T}$ (1分間平均値) の時間変化

第2表 実験結果

日付	超音波・熱電対	ライシメーター	σT (°C)	σT_{sv} (°C)
04.10.27 11:00 ~ 11:10	0.08		0.63	0.69
11:10 ~ 11:20	0.036		0.26	0.27
11:20 ~ 11:30	0.081		0.10	0.16
合計 (mm/30分)	0.197	0.194		

気象条件 (11:00 ~ 11:30 平均)
 平均風速: 1.25 m/s、気温: 14.4°C、湿度: 53%
 運動量輸送量: $0.054 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$



第5図 潜熱輸送量を求めるためのシステム図

VI 結論

湿度計を使用しないで，潜熱の鉛直輸送量が簡単に算出できることが，実験的に示された．超音波風速温度計も熱電対温度計も，原理的には風洞や恒温槽などを使った検定が不必要なことは，野外観測では非常に大きな利点である．今後，いろいろの気象条件下で実験を行い，問題点などを調整して長期的な観測が可能なシステムの構築を行いたい．

文献

古籾田一雄・佐倉保夫・林陽生・甲斐憲次

(1978)：水理実験センターにおける熱収支・水収支観測システムとデータ集録・処理について．筑波大学水理実験センター報告，**2**，65-89．

塚本 修 (1994)：超音波風速温度計で測定された顕熱フラックスについて．日本農業気象学会講演概要集，240-241．

花房龍男 (2001)：超音波による温度計測．超音波テクノ，**13**，2-7．

Hignett, P. (1992): Correction to temperature measurements with sonic anemometer. *Boundary - Layer Meteorology*, **61**, 175-187.

(2005年5月31日受付，2005年8月31日受理)

台座岩から推定される石灰岩地表面の 溶解による低下速度：喜界島における一例

Limestone Pedestals and Denudation Estimates
from Kikai-jima, Ryukyu Islands

松倉 公憲^{*}・前門 晃^{**}・廣瀬 孝^{**}・
青木 久^{***†}・小暮 哲也^{***}

Yukinori MATSUKURA^{*}, Akira MAEKADO^{**}, Takashi HIROSE^{**},
Hisashi AOKI^{***†} and Tetsuya KOGURE^{***}

I はじめに

石灰岩が溶解しやすいことはよく知られているが、石灰岩からなる地域の地表近くにおける溶解量が計測された例はあまり多くない。またそれらの計測結果を厳密に比較することは難しい。なぜなら計測法の違いや環境の差異等を考慮しなければならぬからである (Jennings, 1985, p. 85)。

地表近くでの溶解による地表低下速度を見積もる方法に、ペDESTALを使うものがある。石灰岩のペDESTAL (pedestals あるいは pedestal rock) とは、更新世の最終氷期の最拡大期に氷河によって削られた石灰岩ペーパメントの上で、迷子石 (erratics) の保護のもとで溶解され残された部分が台座状になったものをいう。このペDESTALの高さの分が、解氷以降現在までにその周辺の石灰岩が溶解されたことによって生じたものということになる。したがってこの高さを解氷以降

の時間で除することにより、平均地表面低下速度 (溶解速度) が計算される。現在までに報告された、このようなデータをまとめると第1表のようになる (Jennings, 1985, p. 85; Ford and Williams, 1989, p. 117)。データは5例ほどしかないが、それらは $15\text{--}42\text{ mm ka}^{-1}$ と同一オーダーの範囲内に存在する。

従来本邦においては上記のような形状をもつペDESTAL (以降、台座岩と呼ぶ) の存在は報告がないようであるが、我々は最近、喜界島において巨礫を載せる石灰岩からなる台座岩を発見した。本稿では、この台座岩から地表面低下 (溶解) 速度の見積りについて検討したので、その予察的な報告をする。

II 喜界島のサンゴ礁段丘と台座岩

喜界島 (第1図) は琉球列島の中でもとりわ

^{*} 筑波大学生命環境科学研究科

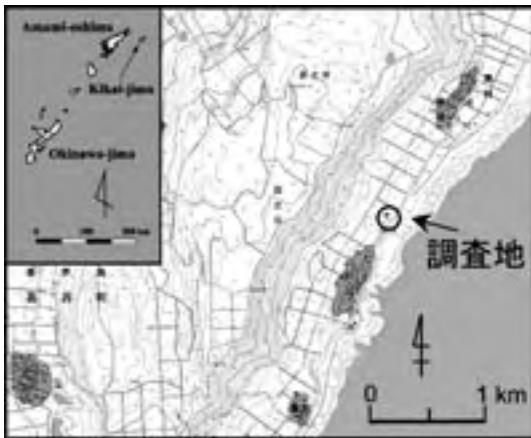
^{**} 琉球大学法文学部人間科学科

^{***} 筑波大学生命環境科学研究科大学院生

[†] 現：琉球大学 COE 研究員

第1表 台座岩から推定された石灰岩地表面低下速度
(Ford and Williams, 1989, p.117 による)

Area	Average height of pedestal (cm)	Time since ice retreat (a)	Surface lowering (mm ka ⁻¹)	References
Maren Mts, Switzerland	15	10000	15	Bogli 1961
Clare-Galway, Ireland	15	12000	15	Williams 1966
Leitrim, Ireland	51	12000	42	Williams 1966
Craven, England	50	12000	42	Sweeting 1966
Mt Jaya, West Irian	30	9500	32	Peterson 1982



第1図 調査位置図

け琉球海溝側に位置していることから、過去13万年の平均隆起速度が1.7 m/kyrと琉球列島の他の島より一桁大きい(たとえば, Konishi *et al.*, 1974)。このような活発な隆起運動がそれ以降の完新世まで継続してきたため、完新世サンゴ礁段丘が島を縁取るように発達している。それらの隆起サンゴ礁は第四紀石灰岩からなり、地形・地質・形成年代に関する研究が多数積み重ねられてきた(たとえば, 中田ほか, 1978; 太田ほか, 1978; 佐々木ほか, 1998)。その結果、喜界島の北東部に位置する志戸桶北海岸においては、高度11 m以下に以下の4つの段丘が認められており、それぞれの段丘の高度、段丘を構成するサンゴの年代、段丘離水年代は高位のものから順に以下のように示されている(佐々木ほか, 1998)。

I面: 高度約11 m, サンゴの年代 6.89-7.76 ka,

段丘離水年代不明

II面: 高度約5.0-3.5 m, サンゴの年代 3.91-7.22 ka, 段丘離水年代 5.1-4.0 ka

III面: 高度約3.8-1.5 m, サンゴの年代 3.96-4.65 ka, 段丘離水年代 2.9-2.6 ka

IV面: 高度約1.2 m以下, サンゴの年代 1.53-8.07 ka, 段丘離水年代不明

この中で最も分布の広いのがII面であり、島の周囲を数100 mの幅で取り囲むように分布している。この段丘面形成に要した海面停滞期間は~5.1 kaと見積もられ、その離水時期は5.1-4.0 kaと見積もられている。

島の東部にもII面が広く分布しており、点在する集落もこの面に立地している。島の東部中央の「阿伝」と「嘉鈍」の集落を結ぶ道路沿いに「末吉神社」がある(第1図)。道路および神社は、標高6-7 m(すなわちII面相当)のところに立地している。

神社の周辺にはいくつかの石灰岩の巨礫が存在する。第2図は神社の入り口の鳥居の脇に存在する巨礫である。この巨礫の大きさは長径が3-4 m, 高さが2.5-3 mほどである。巨礫の下部にも巨礫と類似の岩相をもつ石灰岩が存在する。第2図に示したように、巨礫の下部の周囲は波食ノッチ状にえぐれており、一見すると巨礫と台座は一体のようにもみえるが、よく観察すると、下部の岩石は台座状になっており、その上に巨礫が載っていることがわかる。すなわち巨礫の下の岩盤は台座岩と思われる。台座岩の高さは約20 cmほ



第2図 末吉神社の鳥居脇の巨礫と台座岩：台座岩の高さが地表面低下量（石灰岩溶解量）を示すと考えられる

どであった。前述した石灰岩の台座岩の例では、その上に載る岩石は溶解し難い岩質からなる迷子石であることが多い。しかし、喜界島のこのケースは、台座岩およびそれを保護している帽岩（cap rock）ともに溶解しやすい石灰岩から構成されるという特徴をもつ。台座岩周辺の地表には厚さ数cmの砂層があり、その下は台座岩と同じ岩相をもつ石灰岩の基盤となっている。

III 台座岩形成のシナリオ

前節で述べたように、巨礫は運搬されてきてその位置に置かれたように見える。すなわち、ある時期に何らかのプロセスで巨礫が移動してきて、台座岩の上に置かれたと解釈される。もちろん巨礫がこの位置に運搬されてきたときに台座岩があったわけではなく、台座岩は運搬後に形成されたものであろう。そこで台座岩の形成としては、前述した従来の地形発達史（段丘編年）の研究成果をふまえて、以下のようなシナリオを描いた。

- (1) 5100-4000年以前のある時期に、礁原に巨礫が運搬されてきた。
- (2) 5100-4000年前に地盤が隆起し、礁原が離水し段丘化した。

- (3) その後、巨礫の周囲の隆起石灰岩からなる地表面は雨水による溶解によって徐々に低下した。一方、巨礫の下は巨礫の傘の効果で雨水の溶解から免れ、台座岩になった。「巨礫の傘の効果」という表現を使用した。実際には巨礫も石灰岩である。台座岩周辺と同じように巨礫も雨水により徐々に溶解されていることは充分予想される。ここでは巨礫の溶解量について検討する材料はないが、仮に溶解によって巨礫が若干小さくなっているにせよ、台座岩を保護する役目は充分果たしていることもまた事実であろう。

シナリオ(1)の巨礫の運搬プロセスとしては二つのことが考えられる。一つは津波によって打ち上げられたものという解釈と、もう一つは礁原の背後の海食崖の崩落によってもたらされたものという解釈である。後者の場合、神社の位置は現在の崖からかなり遠いが、2mを超えるような巨礫であることから、仮に崖がかなり後退してからであったとしても、崖の崩落の際にこの位置まで転動してくることは充分可能であろうと思われる。

IV 台座岩から推定される地表面低下（溶解）速度

礁原が離水する以前に巨礫が置かれたと仮定すると、離水直後から巨礫の周囲の地表面では溶解がはじまり、台座岩の形成が開始したことになる。したがって離水後の5100-4000年と台座の高さ20cmのデータから、台座岩の形成速度、すなわち周辺の石灰岩の平均溶解速度は $39.2-50.0 \text{ mm ka}^{-1}$ という値が得られることになる。ただし、この計算は「礁原が離水する以前に巨礫が置かれた」と仮定した場合のものである。もし離水以降に巨礫が供給されたとすると、台座岩の

形成時間は5100-4000年より短くなり、それだけ台座岩の形成速度（周辺の石灰岩の溶解速度）は大きくなる。すなわち上記の値は考慮される速度の最小値を示していることになる。ところで、台座岩の周辺の薄い砂層は、石灰岩が溶解したこの期間に、溶解され残された石灰岩中の不純物によって形成されたと考えられる。

第1表には中緯度の沿岸丘陵、中緯度の山岳、熱帯の山岳という環境下で計測された溶解速度の値を示しているが、喜界島の平均溶解速度のデータはこれらの値の範囲内に入り、同じオーダーの速度を示していることは興味深い。また、Matsukura and Hirose (1999) は石灰岩（阿武隈石灰岩）のタブレットを阿武隈山地の地中に埋め、その溶解量を5年間にわたり計測した。その結果から、地表や表層での地表面低下量を約3 mm ka⁻¹と見積もっている。岩石が異なるので、詳細な比較はできないが、阿武隈におけるタブレット野外実験から計算された結果より、喜界島の溶解速度が10倍以上大きいことも興味深い。

ところで、石灰岩の溶解速度に影響を与えるものとしては、溶解する岩石側の性質（石灰岩の岩質）と溶解させる環境（すなわち雨量や雨水の性質、地中のCO₂濃度など）の両者がある。したがって、得られた速度の評価（他地域との比較）に関しては、今後これらの点からのさらに詳しい検討が必要であろう。

V おわりに

喜界島に台座岩が存在することを報告した。この台座岩は隆起サンゴ礁段丘の上で形成されていることから、仮に隆起前の礁原に巨礫が供給され、離水後に台座岩が形成され始めたと仮定すると、台座岩の発達速度（すなわち周辺の石灰岩の溶解による地形の低下速度）は約40-50 mm ka⁻¹と見積もられた。この値は従来報告された石灰岩の台座岩形成速度とほぼ類似の値であった。

喜界島にはこのような台座岩が多数分布しているようである。今後はより多くのデータを蓄積することにより、より解像度の高い形成速度を求めねばならない。また台座岩の形成シナリオを描いた際、巨礫の供給源についてはいくつかの可能性を指摘した。供給源を特定する問題は、巨礫である石灰岩の岩石学的検討をすることにより解決できる可能性があり、これも今後に残された課題である。

謝辞

本研究を行うに際し、学術振興会・科学研究費・基盤研究B（課題番号16300292 研究代表者・松倉公憲）および基盤研究C（課題番号14580103 研究代表者・前門 晃）を使用した。

文献

- 太田陽子・町田 洋・堀 信行・小西健二・大村明雄 (1978): 琉球列島喜界島の完新世海成段丘: 完新世海面変化研究へのアプローチ. 地理学評論, **51**, 109-130.
- 佐々木圭一・大村明雄・太田陽子・村瀬 隆・吾妻 崇・小林真弓・伊倉久美子 (1998): 南西諸島喜界島の志戸桶北海岸における完新世海退性サンゴ礁段丘の形成. 第四紀研究, **37**, 349-360.
- 中田 高・高橋達郎・木庭元晴 (1978): 琉球列島の完新世離水サンゴ礁地形と海水準変動. 地理学評論, **51**, 87-108.
- Bogli, A. (1961): Karrentische, ein Beitrag sur Karstmorphologie. *Z. Geomorph., Suppl. Bd.*, **2**, 4-21.
- Ford, D. C. and Williams, P. W. (1989): *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman & Hall, London, 601p.
- Jennings, J. N. (1985): *Karst Geomorphology*, Basil

Blackwell, Oxford, 293p.

Konishi, K., Omura, A. and Nakamichi, O. (1974): Radiometric coral age and sea level records from the late Quaternary reef complexes of the Ryukyu Islands. *Proc. 2nd Intern. Coral Reef Symp.*, **2**, 595-613.

Matsukura, Y. and Hirose, T. (1999): Five year measurements of rock tablet weathering on a forested hillslope in a humid temperate region. *Engineering Geology*, **55**, 69-76.

Peterson, J. A. (1982): Limestone pedestals and denudation estimates from Mt Jaya, Irian

Jaya. *Aust. Geogr.*, **15**, 170-173.

Sweeting, M. M. (1966): The weathering of limestones. With particular reference to the Carboniferous Limestones of northern England. In *Essays in Geomorphology*, G. H. Dury(ed.), 177-210. London, Heinemann.

Williams, P. W. (1966): Limestone pavements with special reference to western Ireland. *Trans. Inst. Br. Geog.*, **40**, 155-172.

(2005年5月31日受付, 2005年8月1日受理)

青島砂岩の塩類風化速度に与える 間隙率の影響に関する一実験

The Effect of Porosity of Aoshima Sandstone
on Rates of Salt Weathering: A Laboratory Experiment

山本 まりえ*・青木 久**・松倉 公憲***

Marie YAMAMOTO*, Hisashi AOKI** and Yukinori MATSUKURA***

1 はじめに

ここ 20 ~ 30 年の間に、フィールド調査と室内実験の両面から塩類風化に関する研究が積み重ねられてきた。塩類風化の主要なメカニズムとして、(1) 塩を含む溶液から塩結晶が成長するときに発生する結晶圧、(2) 塩結晶の水和作用によって発生する圧力、(3) 塩結晶の熱による膨張圧、の 3 つが考えられている。しかし、これらの詳しいメカニズムについてはまだ不明な点が多い。

塩類風化の基本的なメカニズムや風化速度を明らかにすることを目的として多くの室内実験が行われてきた。Goudie (1974) は、塩類風化には上記 (1) の塩の結晶圧が最も効果的であることを示した。さらに、Goudie (1986) による塩類風化実験では、塩類風化に効果的な塩は Na_2CO_3 、 MgSO_4 、 Na_2SO_4 であること、 NaCl 、 CaSO_4 、 NaNO_3 は効果が小さいことが示された。また、Gauri *et al.* (1990) は、岩石の風化の程度と間隙径分布から、塩類風化に対する岩石の

抵抗性を表す指標を考案した。Matsukura and Matsuoka (1996) は、塩類風化のしやすさを表す指標 WSI を考案し、小さな間隙を多くもち、引張強度が小さい種類の岩石ほど塩類風化しやすいことを述べている。

一般に、風化速度が大きい岩石は、間隙率が高く、力学的強度が低いことが知られている。しかし、同一種の岩石において、間隙率などの物理的性質が、風化速度に与える影響に関する研究は少ない。

同じ種類の岩石における風化速度の違いを論じた研究の一例として、日南海岸・青島の弥生橋橋脚の砂岩（新第三系宮崎層群青島互層の砂岩）塊に発達するタフォニ状のくぼみを対象とした青木・松倉 (2005) の研究がある。このくぼみの形成には、塩類風化作用が大きく影響していることが既に明らかにされている（高橋ほか、1993）。青木・松倉 (2005) は、ほぼ同じ環境下であり、同程度の塩類風化作用を受けたとみなせる砂岩塊であっても、砂岩塊ごとにくぼみの深さが異

* 筑波大学自然学類（現：筑波大学生命環境科学研究科大学院生）

** 筑波大学生命環境科学研究科大学院生（現：琉球大学 COE 研究員）

*** 筑波大学大学院生命環境科学研究科

なり、その違いには岩石強度の個体差が関与していることを示した。このように、異なる地形形成速度がもたらされる原因を明らかにする手段として、室内実験における実験経過の観察や測定は有効であろう。

そこで本研究では、岩石の物理的性質の一つである間隙率が、塩類風化速度に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、間隙率が異なる青島砂岩と、2種類の塩溶液 (Na_2SO_4 , NaCl) を用いた風化実験を行った。

II 実験

1. 実験に使用した岩石と塩溶液

宮崎県の日南海岸北端に位置する青島で採取された、間隙率の異なる3種類の青島砂岩（岩石試料の大きさは $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ ）を用いて実験を行った。9個の岩石試料の間隙率、実験開始前の重量およびエコーチップ硬度 (L 値) を第1表に示す。岩石を識別するため、間隙率 n の大きい方から A1 ($n = 15.8 \sim 16.0\%$, $\bar{n}=15.9\%$), A2 ($n = 12.0 \sim 13.1\%$, $\bar{n}=12.5\%$), A3 ($n = 8.1 \sim 8.9\%$, $\bar{n}=8.4\%$) と略称する。岩石試料それぞれの重量の範囲は $349.5 \sim 389.0\text{ g}$ である。その差はわずかではあるが、間隙率が大きい岩石試料ほど軽くなる。 L 値は、エコーチップ硬さ試験機を用いて計測される岩石表面の強度の値であ

第1表 実験に用いた供試体の間隙率、初期重量、および初期エコーチップ硬度 (L 値)

		間隙率 (%)	重量 (g)	L 値
		n	W_0	L_0
Na_2SO_4	A1	15.8	349.5	527
	A2	13.1	365.8	538
	A3	8.9	389.0	638
NaCl	A1	15.8	356.7	544
	A2	12.0	361.3	550
	A3	8.1	377.3	590
蒸留水	A1	16.0	350.8	518
	A2	12.5	355.0	521
	A3	8.1	380.0	575

る。この試験機は金属材料の非破壊検査のために開発されたが、最近では岩石や岩盤の硬度測定にも使われるようになった（例えば、青木・松倉, 2004）。エコーチップはシュミットハンマーに比較して、測定時の打撃エネルギーは $1/200$ （青木・松倉, 2004）と小さく、風化して強度の低くなった岩石試料でも破壊せずに計測できる。風化作用を受けて岩石強度が低下し、侵食作用を受けやすくなり、地形の変化がもたらされると予想されるので、塩類風化実験において岩石強度を計測することは十分に意味がある。

岩石試料が硬いほど L 値が大きくなる。本実験では単打法により、打撃点が重ならないように10点の計測を行い、それらの平均値を L 値として算出した。ただし、実験の進行に伴い、岩石試料の風化による破壊が進み、計測面の面積が小さくなった場合は、5点のみの打撃を行い、それらの平均値を用いた。第1表に示すように、間隙率が大きいほど L 値（表面強度）が小さくなる傾向がある。また、A1 (518 ~ 544) と A2 (521 ~ 550) との L 値の差よりも、A2 と A3 (575 ~ 638) L 値の差の方が大きかった。

実験に用いた塩溶液は、破壊力の強い塩である硫酸ナトリウムと、破壊力の弱い塩化ナトリウム (Goudie and Viles, 1997) である。特に、海岸における塩類風化には塩化ナトリウムが大きく影響していると考えられる。塩溶液を用いた実験では、塩類風化と乾湿風化が同時に起こる可能性がある。乾湿風化の影響の有無を確認するために、塩溶液を用いた実験のほかに、蒸留水での実験を併行して行った。

2. 実験方法

塩類風化の室内実験においては、従来二つの方法がとられてきた。一つは、角柱状の岩石試料の下部を塩溶液に浸したままで試料上部を乾燥させる、という方法である（例えば、Rodriguez-Navarro and Doehne, 1999; 木村・松

倉, 2003). この方法では, 岩石試料に浸透する塩溶液の量が塩溶液液面からの高さによって異なるため, 岩石試料上下で風化速度に差が生じる可能性がある. また, 実験途中で析出した塩結晶を岩石試料から取り除く操作を行わないため, 重量や L 値の計測において, 塩の影響が含まれた値になる. もう一つの実験方法は, 立方体状の岩石試料を塩溶液に完全に浸した後に, それを溶液から引き上げ, 乾燥させるというものである (例えば, Goudie, 1999; 山田ほか, 2005). この実験では, 先に述べた実験方法における問題点は解消され, 風化による岩石試料の物性変化過程を容易に捉えることができる. そこで本研究では, 実験経過にともなう岩石の風化速度を得るために, 後者の方法を採用することにした.

本実験では, はじめに炉で十分に乾燥させた岩石試料の初期重量 W_0 , 初期エコーチップ反発値 L_0 , 間隙率を測定し, その後以下の (1) ~ (5) の作業を繰り返し行った.

- (1) 岩石試料を 2 mm メッシュのふるいの上に載せ, 室温 (約 25 °C) で 8 時間溶液に浸した.
- (2) 溶液からふるいごと岩石試料を取り出し, 110 °C で 16 時間炉乾燥させた.
- (3) 手順 (2) の乾燥過程で岩石表面および岩石中に析出・結晶化した塩を取り除くため, 岩石試料を蒸留水中に室温で 8 時間浸した.
- (4) 再び岩石試料を 110 °C で 16 時間炉乾燥させた.
- (5) 風化の指標として, 塩類風化により変化する重量 W , エコーチップ反発値 L を計測した. 重量については, ふるいの上に残った岩石試料の重量を測定した. すなわち, ふるいのメッシュからぬけ落ちたものを風化による欠損とみなした.

(1) ~ (5) の一連の過程を 1 サイクルとして, 実験の進行をサイクル数で表すことにする. 岩石

試料の風化の進行状況に応じ, 7 サイクルから 21 サイクルの実験を行った.

III 実験結果

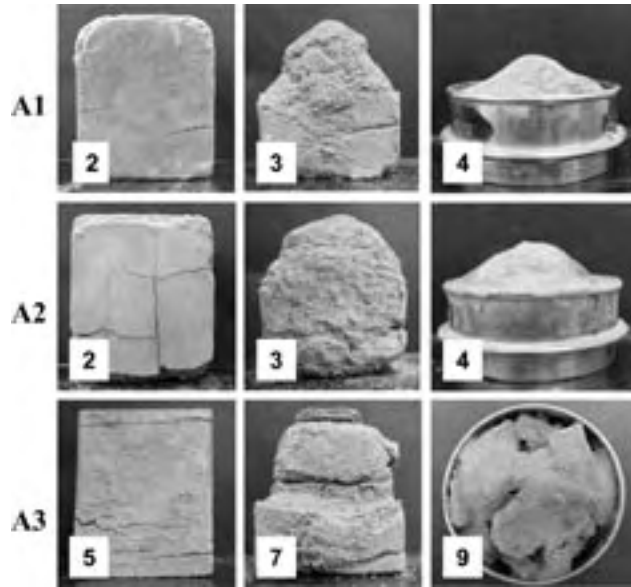
実験サイクルの進行に伴う岩石試料の破壊の様子を第 1 図 (硫酸ナトリウム), 第 2 図 (塩化ナトリウム), 第 3 図 (蒸留水) に示した. また, 岩石試料の重量変化および L 値の変化を第 4 図に示した. ただし, W_0 , L_0 は 0 サイクルの値を意味する. 以下では溶液ごとに, 岩石試料の破壊の様子, 重量変化, L 値の変化の順にまとめて記載する.

1. 硫酸ナトリウムを用いた実験

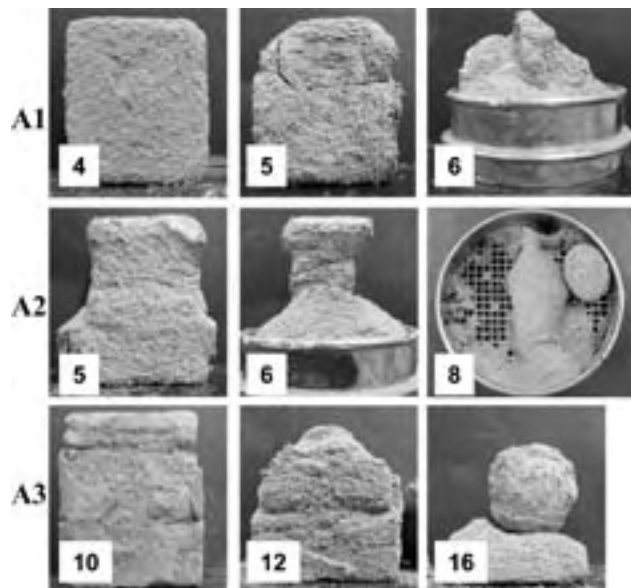
A1 では 2 サイクル目で岩石試料の角が少し取れ, 大きい亀裂が入った. 3 サイクル目に岩石試料上部が崩れ, 4 サイクル目には原形をとどめないほどに崩れた. A2 も A1 と同じような変化をたどった. A3 には 3 サイクル目に亀裂が入り始め, 6 サイクル目には大きく破損した. 7 サイクル目には岩石試料上部が崩れ, 9 サイクル目には原形をとどめないほどに崩れた.

間隙率の大きい A1 の重量は 3 サイクル目から顕著に減少した. 3 ~ 5 サイクル目では 1 サイクルごとにおよそ 100 g ずつ減少し, 5 サイクル目でふるい上に岩石試料はほとんどなくなった. A2 も A1 と同じような重量変化をした. しかし, 5 サイクル目で残った岩石試料の重量は A1 よりも若干多かった. 間隙率の小さい A3 の重量は 7 ~ 10 サイクル目まで, 1 サイクルあたり 100 g 前後の割合で減少し, 11 サイクル目でほとんど岩石試料がなくなった.

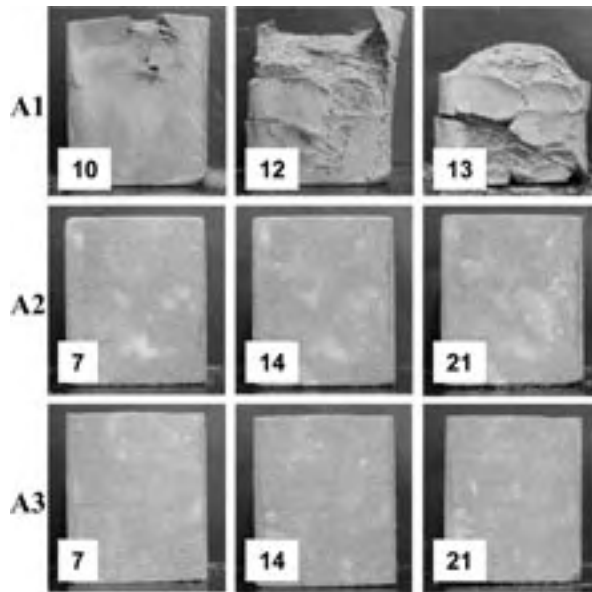
A1 と A2 の L 値は 1 サイクル目から急激に低下した. A1, A2 の 3 サイクル目以降は, 岩石試料が崩れてしまったために L 値の測定はできなかった. 間隙率が小さい A3 では, L 値は 4 サイクル目までは徐々に低下し, 5 サイクル目から 7 サイクル目まで急激に低下した. 6 サイクル目の



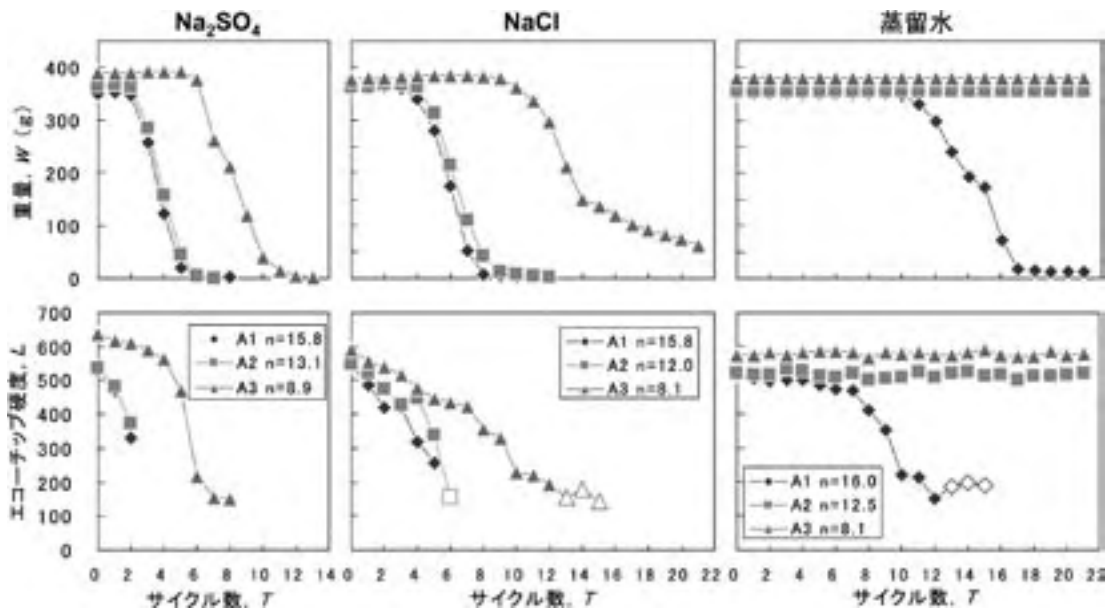
第1図 飽和硫酸ナトリウム溶液を用いた実験における
青島砂岩の風化過程
(写真の中の数字はサイクル数を示す)



第2図 飽和塩化ナトリウムを用いた実験における
青島砂岩の風化過程
(写真の中の数字はサイクル数を示す)



第3図 蒸留水を用いた実験における
青島砂岩の乾湿風化過程
(写真の中の数字はサイクル数を示す)



第4図 岩石試料の重量 W およびエコーチップ硬度 L とサイクル数 T との関係
(ただし、白抜きのプロットは5回測定の平均値を示す)

L 値の低下量が最も大きかった。8サイクル目では L 値はあまり変化しなかった。9サイクル目以

降は、岩石試料が崩れてしまったため L 値は測定できなかった。

2. 塩化ナトリウムを用いた実験

塩化ナトリウムを用いた実験では試料に亀裂がそれほど入らず、岩石試料表面から細粒物が剥がれるように風化した。A1では2サイクル目から表面が剥がれ始めた。5サイクル目には岩石試料の角が取れるように大きく破損し、6サイクル目には崩れた。A2では3サイクル目から表面が剥がれ始め、5サイクル目には元の岩石試料の形を失い始めた。8サイクル目には、岩石試料中心部が球状に残り、その他の部分は細かく崩れた。この球状に残った岩石試料は、サイクルを重ねるにつれて小さくなっていった。A3では6サイクル目になって表面が剥がれ始め、岩石試料上部にわずかに亀裂が入り始めた。12サイクル目には亀裂から割れ、岩石試料上部が板状になって分離した。14サイクル目には、岩石試料は元の岩石試料中心部が球状、元の岩石試料の底面が板状となって、ふるいの上に残った。サイクルを重ねるにつれて、残った岩石試料は表面から風化して小さくなっていった。

A1とA2の重量は、3～4サイクル目まではほぼ一定だったが、4～8サイクル目で急激に減少し、8～9サイクル目で重量はほとんど0となった。A3の重量は、9サイクル目まではほとんど変化しなかったが、10サイクル目から目立って減少し始めた。特に13サイクル目では約90gという最大の減少量を示した。15サイクル目からの減少量は15g前後ずつとほぼ一定だった。

A1のL値は5サイクル目まで、60前後ずつ値が低下した。岩石試料が破壊されたため6サイクル目以降L値を計測できなくなった。A2のL値は、3サイクル目まで30～50ずつ低下したが、4サイクル目でわずかに上昇し、5サイクル目から再び低下した。ただし、6サイクル目は5点しかエコーチップ反発値を測定できなかった。岩石試料が破壊したため7サイクル目からL値を計測できなかった。A3のL値は15サイクル目まで、約10～40ずつ減少する傾向を示した。ただ

し、8、10サイクル目では、L値が急激に低下し、14サイクル目にはL値がわずかに上昇した。13～15サイクル目のL値は5点の測定結果から求めた。

3. 蒸留水を用いた実験

A1は8サイクル目で岩石試料上部にわずかに亀裂が入り、10サイクル目には岩石試料内部が膨張するように破壊された。13サイクル目には岩石試料上部がなくなり、岩石試料内部のもろい部分から細粒化して崩れていった。A2とA3は21サイクル目までほとんど変化しなかった。

A1の重量は11サイクル目から1サイクルあたり約50gずつ減少した。17サイクル目には、ふるいのメッシュの上にはほとんど岩石試料が残らなかった。A2とA3は実験中ほぼ一定の重量であった。

A1のL値は、4サイクル目まで大きく変化しなかったが、5サイクル目から低下し始め、8サイクル目から急激に低下した。11サイクル目以降のL値はほぼ一定となった。ただし、13～15サイクル目のL値は5点の打撃から求めた。また、16サイクル目以降のL値は岩石が壊れてしまったため測定できなかった。A2とA3のL値は、多少ばらつきがあるが実験開始前の値からほとんど変わらず、実験中ほぼ一定であった。

IV 考察

蒸留水を使った実験では、大きい間隙率を持つA1だけが乾湿風化により崩壊した。しかし、顕著な乾湿風化を受けたA1であっても、A1が壊れ始めたサイクル数は、硫酸ナトリウムや塩化ナトリウムによる塩類風化によってA1が十分に破壊され終えたサイクル数よりも大きかった。また、乾湿風化の顕著だったA1と、乾湿風化の影響が見られなかったA2で、飽和塩溶液を用いた実験時の重量・L値の変化に大きな差はなかつ

た。このため、飽和塩溶液を使用した本実験における乾湿風化の影響は十分無視できるものと考えられる。これをふまえ、以下に、硫酸ナトリウムおよび塩化ナトリウムによる実験結果について考察を行う。

まず、重量と表面強度の時間変化を比較すると、岩石試料の重量 W は実験開始後の数サイクルでは変化しないのに対し、表面強度 L は 1 サイクル目から低下している（第 4 図）。このことから、岩石試料の重量変化は、表面強度 L が低下した後に起こることがわかる。次に、重量変化がおきる条件について検討する。重量 (W) と表面強度 (L 値) をそれぞれの初期値で規格化したものを、ここではそれぞれ重量変化率 W/W_0 、表面強度変化率 L/L_0 と定義し、両者の関係を調べた（第 5 図）。その結果、実験開始後

何サイクルかのデータは L/L_0 値の減少に関わらず、 $W/W_0 \approx 1$ にプロットされた。それに対し、サイクルが進み L/L_0 値が 0.5 ~ 0.6（図中のメッシュ部分）より小さくなると、 L/L_0 値の減少に伴い W/W_0 値も減少する傾向が見られた。この傾向は塩溶液の種類や間隙率に依存しない。したがって、本研究においては、表面強度が新鮮な岩石の 50 ~ 60 % の強度まで低下したときに、重量変化が起きたことがわかる。

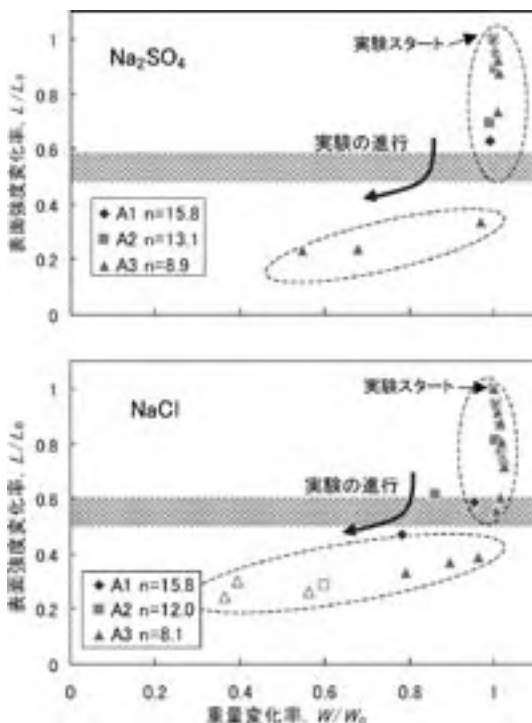
従来の実験では、塩類風化の進行を重量減少によってとらえたケースが多かった。また、山田ほか（2005）では、P 波速度の減少を風化の進行を示す指標として塩類風化速度の実験式を導いた。しかし、本論では表面強度変化率 L/L_0 を塩類風化指数として用いる。これまで述べてきたように、 L 値の変化は重量変化に先行して起こる。また、 L 値の変化は亀裂や剥離など試料表面の変化よりも早く始まる。このことから、表面強度変化率 L/L_0 は風化に対してきわめて鋭敏に反応し、塩類風化の進行を表す指標として適当であると考えられる。

表面強度変化率 L/L_0 は、サイクル数 T が増加するにつれて減少するが、その減少の傾向は塩溶液の種類によって異なる。硫酸ナトリウム溶液を用いた実験では、 L/L_0 の減少の傾向は、上に凸の曲線を描く一方、塩化ナトリウム溶液を用いた実験では、 L/L_0 は直線的に減少する傾向を示す。また、どちらの溶液においても、 L 値の減少程度は間隙率ごとに異なる。

そこで、それぞれの塩、間隙率について、表面強度変化率 L/L_0 とサイクル数 T の関係を表す近似式を求めることにする。硫酸ナトリウムの場合には、以下のような上に凸の放物線を示す 2 次式で近似させた。

$$L/L_0 = -aT^2 + 1 \quad (1)$$

ここで係数 a は、 L/L_0 の T に対する変化率（こ



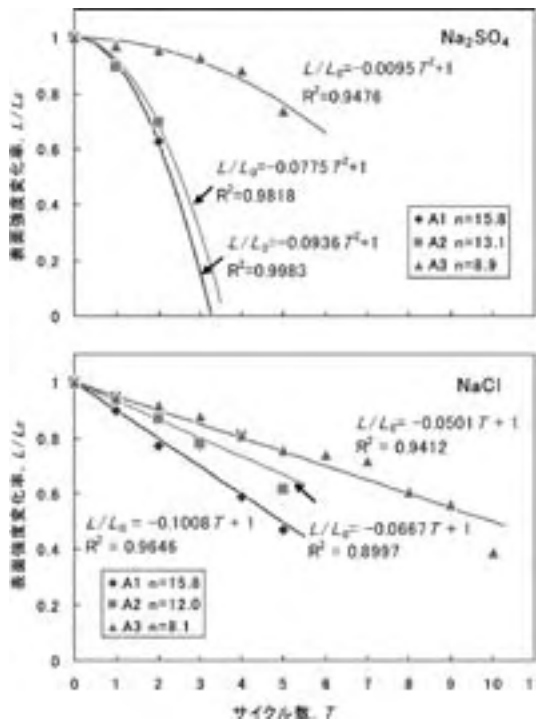
第 5 図 岩石試料の表面強度変化率 L/L_0 と重量変化率 W/W_0 との関係 (ただし、白抜きのプロットは 5 回測定の平均値を示す)

ここでは強度低下速度と呼ぶことにする) であり、その値は間隙率に依存する。係数 a の値は A1 では 0.0936, A2 では 0.0775, A3 では 0.00952 と求まった。ただし、A3 の場合では 5 サイクル目までの値で近似した。なぜなら、6 サイクル目、A3 には A1, A2 と比較して特に顕著な亀裂が入っており、測定値に亀裂が影響している恐れがあるためである。

塩化ナトリウムの場合には、以下のような直線を示す一次式で近似させた。

$$L/L_0 = -bT + 1 \quad (2)$$

ここで b は、強度低下速度を示す係数であり、間隙率によって変化する。係数 b の値は A1 では 0.1008, A2 では 0.0667, A3 では 0.0501 と求まった。A3 では 11 サイクル目に岩石試料上部が崩れた。



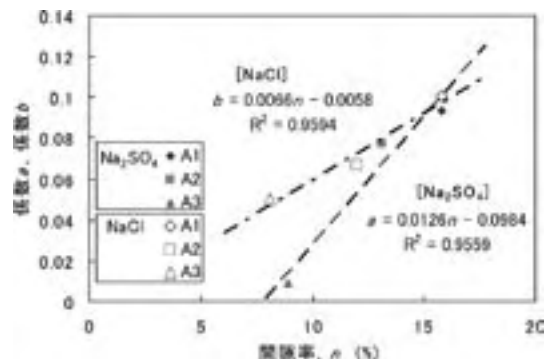
第 6 図 岩石試料の表面強度変化率 L/L_0 とサイクル数 T との関係

たため、測定値に測定面の形状が影響している可能性がある。このため、A3 の場合は 11 サイクル以降の値を除外して近似した。

強度低下速度を示す係数 a および b を縦軸、間隙率 n を横軸にとってプロットした結果、間隙率 n が大きくなるにしたがって、 a および b が大きくなる傾向があることがわかった (第 7 図)。すなわち、塩溶液の種類によらず、間隙率が大きい岩石試料ほど、強度低下速度が大きい。前述したように、青島砂岩は、間隙率が大きいものほど強度が小さいという傾向を持つ。これらは、青島砂岩においては、間隙率が大きく強度が小さいほど、塩類風化による強度低下速度が大きいことを示す。青木・松倉 (2005) は、橋脚を構成する海水飛沫帯に位置する青島砂岩の中で、岩石強度が小さいものほどくぼみ量が多いことを報告している。本実験の結果はこれと調和的であり、くぼみ量の差異が間隙率の差に起因する塩類風化速度の違いによることを示唆する。

V 結論

本研究では、同一種の岩石における間隙率の差異が塩類風化速度に及ぼす影響を明らかにするために、青島砂岩を用いて室内実験を行った。塩類風化の進行を示す指標として重量とエコーチップ反発値を採用し、両者の変化を計測した。結論



第 7 図 係数 a および b と間隙率 n との関係

は以下の3点である：(1) 青島砂岩では、用いた塩溶液に関わらず、間隙率が大きいほど塩類風化速度が大きい。(2) 塩類風化作用によって重量が減少し始めるのは、表面強度の値が実験開始前の50～60%程度まで低下したときである。(3) 塩類風化による表面強度の変化は、使用する塩溶液によって異なる傾向を示す。

謝辞

本研究を行うに際し、学術振興会・科学研究費・基盤研究B(課題番号16300292 研究代表者・松倉公憲)を使用した。

文献

- 青木 久・松倉公憲 (2004)：エコーチップ硬さ試験機の紹介とその反発値と一軸圧縮強度との関係に関する一考察。地形, **25**, 267-276.
- 青木 久・松倉公憲 (2005)：海水飛沫帯における橋脚砂岩塊のくぼみ深さに関する定量的把握：日南海岸・青島弥生橋の事例。地形, **26**, 175-196.
- 木村知子・松倉公憲 (2003)：塩化ナトリウムによる大谷石の塩類風化実験。筑波大学陸域環境研究センター報告, **4**, 149-155.
- 高橋健一・松倉公憲・鈴木隆介 (1993)：海水飛沫帯における砂岩の侵蝕速度－日南海岸・青島の弥生橋橋脚の侵蝕形状－。地形, **14**, 143-164.
- 山田 剛・青木 久・高橋 学・松倉公憲 (2005)：塩類風化速度に与える岩石物性の影響に関する一実験。応用地質, **46**, 72-78.
- Gauri, K. L., Chowdhury, A. N., Kulshreshta, N. P. and Punuru, A. R. (1990)：Geologic features and durability of limestones at the Sphinx. *Environmental Geology and Water Science*, **16**, 57-62.
- Goudie, A. S. (1974)：Further experimental investigation of rock weathering by salt and other mechanical processes. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, **21**, 1-12.
- Goudie, A. S. (1986)：Laboratory simulation of ‘the wick effect’ in salt weathering of rock. *Earth Surface Processes and Landforms*, **11**, 275-285.
- Goudie, A. S. (1999)：Experimental salt weathering of limestones in relation to rock properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, **24**, 715-724.
- Goudie, A. S. and Viles, H. A. (1997)：*Salt Weathering Hazards*. John Wiley and Sons, Chichester, 241p.
- Matsukura, Y. and Matsuoka, N. (1996)：The effect of rock properties on rate of tafoni growth in coastal environments. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Supplementband*, **106**, 57-72.
- Rodriguez-Navarro, C. and Doehne, E. (1999)：Salt weathering: Influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, **24**, 191-209.
- (2005年5月31日受付, 2005年8月8日受理)

大谷石からなる風化岩盤の表面の強度に関する非破壊測定法： エコーチップ硬さ試験機と赤外線水分計を利用した例

Non-destructive Measurement of Rock-surface Strength of Weathered Oya Tuff:
An Application of Equotip Hardness Tester and Infrared Optical Moisture Meter

青木 久^{*}・佐々木 智也^{**}・松倉 公憲^{***}

Hisashi AOKI^{*}, Tomoya SASAKI^{**} and Yukinori MATSUKURA^{*}

1 はじめに

岩石強度は含水比の変化に依存する。したがって、野外岩盤の強度低下を正確に把握するためには、計測時の含水比を把握した上でなされることが望まれる。

従来、風化研究における岩石強度の野外測定には、主にシュミットロックハンマー(たとえば、鈴木ほか, 1977; 松倉ほか, 1983), 針貫入試験器(たとえば、Suzuki and Hachinohe, 1995; Hachinohe *et al.*, 1999, 2002), 土壌硬度計(たとえば、鈴木ほか, 1977; Suzuki and Hachinohe, 1995; Yokota and Iwamatsu, 1999; Hachinohe *et al.*, 2002) が用いられてきた。最近、著者ら(青木・松倉, 2004a, b) は野外の風化岩盤に適用可能な簡易反発強度試験法として、金属材料分野で開発されたエコーチップ硬さ試験機(Proceq, 1977)の有効性を示した。この試験機は、迅速に反発硬度を計測することが可能であり、従来の試験器と比べて測定範囲がきわめて広いという特徴がある。またその計測値は一軸圧縮強度と正の相

関を持ち、岩石強度の指標となることを示している。特に、打撃エネルギーがシュミットロックハンマーの約 200 分の 1 程度ときわめて弱いため、岩石表面はほとんど損傷を受けず、強度の小さな岩石や風化した岩石に対しても非破壊での計測が可能である。また現地岩盤での計測だけでなく、小さな供試体を用いた室内実験にも利用できるという利点がある。

野外における岩盤の含水比の計測法として、たばこの葉の水分管理を目的に開発された赤外線吸収式水分計(JT エンジニアリング(株)製、ハンディ型赤外線水分計 JE100, 以下、赤外線水分計と呼ぶ)を利用した研究がある。Matsukura and Takahashi (1999)によれば、この赤外線水分計の原理は、水分に吸収されやすい近赤外光(吸収光)と水分の影響を受けにくい近赤外光(参照光)を交互に試料表面に照射し、それらの反射光量の比を計算して吸光度とするものである。吸光度が大きいほど水分量は高くなるという性質を利用して、含水比を求めるものである。この方法は、岩盤を構成する岩石の小片を切り出し、その

^{*} 筑波大学生命環境科学研究科大学院生(現:琉球大学大学院理工学研究科 COE 研究員)

^{**} 筑波大学第一学群自然学類(現:昭和パックス株式会社)

^{***} 筑波大学生命環境科学研究科

重量と乾燥させた重量の差から水分量を求める従来の方法と比較して、岩盤を破壊することなく、迅速に測定ができる、室内実験だけではなく、野外にも携帯できるという特徴を有する。以上のことから、エコーチップ硬さ試験機および赤外線水分計は、試料を破壊することなく迅速に測定できることに最大の特徴があり、両機器は、野外岩盤の風化による強度低下の正確な把握に関するきわめて有効な手段になり得ると考えられる。

そこで、本研究では、新第三紀鮮新世の大谷凝灰岩（以下、単に大谷石と呼ぶ）を対象に、これらの2つの機器を用いて、風化した大谷石からなる岩盤での現地計測、および大谷石供試体を用いた室内試験を行い、それらの結果をもとに、大谷石の風化による強度低下の定量的把握を試みた。

II 野外調査

栃木県宇都宮市の北西約8 kmの地点に位置する大谷町を中心として、東西約4 km、南北約6 kmにわたって新第三系中新統の流紋岩質溶結凝灰岩が分布している。この岩石は緑色凝灰岩（グリーンタフ）であり、「みそ」と呼ばれる暗緑～暗褐色のFeに富む特殊なモンモリロナイトの混入がみられることが特徴的である（たとえば、安藤・岡, 1967）。この岩石は通称大谷石と呼ばれ、日本を代表する石材の一つである。大谷石は、比較的空隙が多く軟岩であり容易に加工でき、さらに耐寒性、耐圧性、耐火性に優れていることから、建築・土木用石材として古くから利用されてきた。

大谷石が採取される大谷町地域内には、かつての採石場の面影を残した石切場跡が点在し、岩盤表面が風化している露頭が数多く見受けられる。本研究では、大谷町大谷寺にある採石場跡の露頭（大谷寺露頭と呼ぶ）、および大谷平和観音公園の敷地内にある露頭（観音露頭と呼ぶ）の2地点を調査地に選んだ（第1図）。露頭表面には、風化

によると思われる厚さ数 mm の薄い板状の浮き上がりや粒状の風化生成物が観察される。これらの風化物は、指でこすると簡単に剥離する。各地点においてエコーチップの反発値（ L 値）と赤外線水分計（計測値を X 値とする）の計測をそれぞれ行った。

エコーチップによる計測法は水平方向（横向き）に、同一の点を1回のみ打撃し、次々と移動させながら打撃する方法（以下、単打法と呼ぶ）と同一の点を連続打撃する方法（以下、連打法と呼ぶ）で行った。一地点の岩盤において、20回の連打および5点の単打によって計測した。また、みその部分を避け、できるだけ平坦な面を選んで測定を行った。連打法によって得られた反発値の中から最大（大きいものから）3個の平均値をとり L_{\max} とした。また単打法の場合には、得られた5個の値をそれぞれ平均した値をとり L_s とした。

赤外線水分計による計測は、エコーチップ試験を実施した箇所の周辺部において、5箇所測定を行い、それらの平均値を X 値とした。

それらの測定結果は、第1表に示した。大谷寺



第1図 調査地域

第1表 大谷石の物理・力学的性質

岩石物性 (unit)	計測値
比重, G_s	2.46
乾燥密度, γ_d (gf/cm ³)	1.36
湿潤密度, γ_w (gf/cm ³)	1.73
間隙率, n (%)	44.7
最大含水比, w_{max} (%)	26.9
一軸圧縮強度, S_c (kgf/cm ²)	
(乾燥) 実測値	83.3 ~ 151.3
(乾燥) 平均値	114.7
(湿潤) 実測値	26.4 ~ 41.2
(湿潤) 平均値	33.4

露頭では L_s 値が 250, L_{max} が 576, X 値は 0.478 であった。また観音露頭では, L_s 値が 257, L_{max} が 568, X 値は 0.451 であった。

III 大谷石の物理的・力学的性質

採取した岩石から作成した整形試料を用いて, その諸性質を調べた。まず岩石の物理的性質として真比重 G_s , 間隙率 n , 乾燥単位体積重量 γ_d , 湿潤単位体積重量 γ_w , 飽和含水比 w_{max} の測定を行った。測定結果は第2表にまとめた。真比重 G_s はピクノメーターを用いて測定し, 2.46 の値が得られた。乾燥単位体積重量と湿潤単位体積重量は供試体を 110℃で 72 時間炉乾燥させ, 蒸留水に 120 時間浸すことによりそれぞれ測定した。それらの値はそれぞれ 1.36 g/cm³, 1.73 g/cm³ であった。また飽和含水比は 26.9 % であり, そのときの X 値は 0.924 であった。間隙率 n は真比重と乾燥単位体積重量の値から算出し, 44.7 % となった。

力学的性質として, 一軸圧縮強度 S_c を調べた。強度試験には, 円柱状供試体 (高さ約 7.5 cm, 直径約 3.9 cm) を用い, 乾燥状態 (110℃, 72 時間で乾燥) および湿潤状態 (蒸留水に 120 時間浸す) の下でそれぞれ 10 個ずつ測定した。試験は油圧式 20 t 耐圧試験機を用いた。測定結果を第1表に示した。乾燥状態での圧縮強度は, 最大値 151.3 kgf/cm², 最小値 83.3 kgf/cm², 平均値 114.7

第2表 野外における計測結果

	大谷寺露頭	観音露頭
エコーチップ		
平均値 L_s	250	257
最大値 L_{max}	576	568
赤外線水分計		
吸光度値 X	0.478	0.451

kgf/cm² であった。湿潤状態での圧縮強度は, 最大値 41.2 kgf/cm², 最小値 26.4 kgf/cm², 平均値 33.4 kgf/cm², であった。これらのことから, 乾燥から湿潤状態になり, 含水比が増加すると供試体の強度が大きく低下することがわかる。

IV 室内実験

1. 赤外線水分計による含水比の推定

赤外線水分計の特性やキャリブレーションについては, Matsukura and Takahashi (1999) に詳しい。それによれば, 水分計の原理は, 近赤外線を供試体に照射し, その反射光を受けて供試体の水分を測定するものである。水分計で得られるのは吸光度 (X) の値であり, 岩石の飽和含水比をその吸光度の値で除した値を係数 (B) として, 岩石表面の含水比 (w) は次のような一次式で表すことができる:

$$w = BX \quad (1)$$

そこで, 本計測で得られた吸光度 (X) の値を, 式 (1) を用いて, 含水比 (w) に換算する。室内試験の結果より, $w = 26.9, X = 0.924$ であることから, $B = 29.1$ を得る。したがって, 大谷石の含水比 (w) は吸光度 (X) の値から, 次式で求められる:

$$w = 29.1X \quad (2)$$

2. 岩石強度と赤外線水分計による含水比との関係

次に、水分状態が岩石強度に及ぼす影響、すなわちエコーチップと赤外線水分計を用いて、反発強度と含水比との関係について調べた。ここでは脱水過程における計測を行った。反発値の計測は、野外の調査と同様に、「みそ」の部分を選び、異なる箇所を5回打撃する単打法、同一の点を20回打撃する連打法により実施し、 L_s 、 L_{max} を求めた。

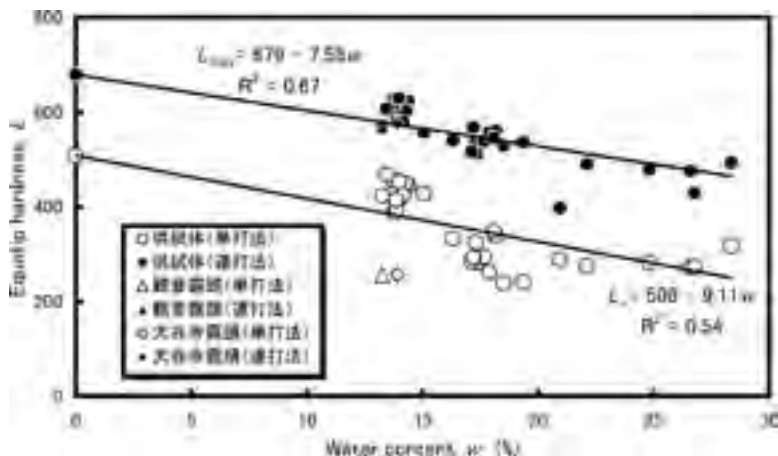
まず、高さ7.5 cm、直径3.9 cmの円柱供試体を温度110℃で72時間炉乾燥させ、乾燥重量と L 値を計測した。次に、供試体を120時間水に浸けておき、飽和重量を測定し、飽和含水比を求めた。脱水試験は、供試体を水中から取り出して、水分を軽く拭きとり、風乾状態で行った。適当な時間間隔で赤外線水分計とエコーチップ反発試験を行い、脱水過程における含水比と反発強度を求めた。その際、水分計測は、供試体に印をつけて、できるだけ同じ箇所を測定するようにした。

試験開始直後は含水比の低下量が大きいので、計測は10分間隔で行い、その後含水比変化を確認しながら、計測間隔を長くしていった。試験は約150時間続け、含水比が13%とほぼ一定となっ

たときに終了とした。試験中の実験室の平均気温は22℃、平均湿度は42%とほぼ一定に保たれた。エコーチップ反発値(L 値)を縦軸に、含水比を横軸にとり、 L_s 、 L_{max} ごとにプロットした結果を第2図に示す。 L_s 値は、絶乾時(含水比が0%)に最大値508であり、含水比が20%以上になると、300前後の値をとる。また L_{max} 値は、絶乾時(含水比が0%)に最大値679であり、含水比が25%以上になると、およそ500まで値が小さくなるのがわかる。全体的な傾向としては、 L_s 、 L_{max} はいずれも、含水比の増加に伴って、直線的に小さくなる傾向が認められる。このことは、湿潤状態の大谷石の圧縮強度が、乾燥状態のものに比べて小さいという試験結果と調和的である。そこで、岩石の L 値は含水比を用いて、次式で示されるものとする：

$$L = L_0 - bw \quad (3)$$

ここで、 L_0 は絶乾状態(含水比 $w = 0\%$)時の L 値、 b は比例定数である。単打法、連打法における L_0 値は、それぞれ508、679であるので、最小自乗法で近似すると L_s と L_{max} は、次式で表される：



第2図 エコーチップ反発値と含水比との関係

$$L_s = 508 - 9.11t \quad (4)$$

$$L_{max} = 679 - 7.55t \quad (5)$$

V 考察およびまとめ

観音露頭と大谷露頭で得られた X 値はそれぞれ 0.451, 0.478 であるので, 式 (2) より, 含水比はそれぞれ 13.3 %, 13.9 % となる. これら 2 つのデータを第 2 図にプロットした. 含水比が 13.3 %, 13.9 % のときの供試体の L_{max} を式 (4), (5) より求めると, それぞれ 579, 574 となり, 観音露頭と大谷露頭の L_{max} 値は, 568, 576 であるので, 実験式から求められた値とほぼ等しい値をとる. 連打法で得られた L_{max} 値は岩盤内部の影響を強く受けた値であることが知られている (青木・松倉, 2004a, b). このように新鮮な岩石供試体と露頭での L_{max} 値がほぼ一致することは, 露頭岩盤の内部が新鮮な岩石で構成されていることを示唆する.

また L_s についても同様に, 観音露頭と大谷寺露頭における含水比, すなわち 13.3 %, 13.9 % のときの供試体の L_s を式 (4), (5) より求めると, それぞれ 387, 381 となり, 観音露頭と大谷寺露頭における L_s 値は, それぞれ 256, 250 であるので, 新鮮な供試体の値よりも 130 ほど小さい値をとっていることがわかる. これらの結果は, 露頭岩盤の表面が風化し, 強度が低下していることを示しており, 観察結果と一致する.

以上のことから以下の結論が得られる. 岩盤の風化に伴う岩石強度の低下量は, エコーチップ硬さ試験機と赤外線水分計を用いることにより非破壊で推定することができる.

謝辞

本研究の物性試験に用いた岩石は, 山南石材店のご厚意により入手したものである. 筑波大学大

学院生命環境科学研究科の小暮哲也氏には供試体の作成・整形や強度試験を手伝っていただいた. 以上の方々に心から御礼申し上げます. 本研究を行うに際し, 学術振興会・科学研究費・基盤研究 B (課題番号 16300292) および文部省・科学研究費・萌芽研究 (課題番号 14658126) (いずれも研究代表者・松倉公憲) を使用した.

文献

- 青木 久・松倉公憲 (2004a): エコーチップ硬さ試験機の紹介とその反発値と一軸圧縮強度との関係に関する一考察. 地形, **25**, 267-276.
- 青木 久・松倉公憲 (2004b): エコーチップ硬さ試験機による青島砂岩・表面風化層の強度の把握. 地形, **25**, 371-382.
- 安藤 武・岡 重文 (1967): 大谷石の地質と採掘に関連する破壊状況. 地質調査所月報, **18**, 1-37.
- 鈴木隆介・平野昌繁・高橋健一・谷津栄寿 (1977): 六甲山地における花崗岩類の風化過程と地形発達との相互作用. 中央大学理工学部紀要, **20**, 343-389.
- 松倉公憲・前門 晃・八田珠郎・谷津栄寿 (1983): 稲田型花崗岩の風化による諸性質の変化. 地形, **4**, 65-80.
- Hachinohe, S., Hiraki, N. and Suzuki, T. (1999): Rates of weathering and temporal changes in strength of bedrock of marine terraces in Boso Peninsula, Japan. *Engineering Geology*, **55**, 29-43.
- Hachinohe, S., Akiyama, T. and Suzuki, T. (2002): Changes in rock properties in soft sedimentary rocks due to weathering. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, **23**, 287-307.
- Matsukura, Y. and Takahashi, K. (1999): A new

technique for rapid and nondestructive measurement of rock-surface moisture content: preliminary application to weathering studies of sandstone blocks. *Engineering Geology*, **55**, 113-120.

Proceq, S. A. (1977): *Equotip Operations Instructions*. 5th ed., Proceq S. A., Zurich, Switzerland.

Suzuki, T. and Hachinohe, S. (1995): Weathering rates of bedrock forming marine terraces

in Boso Peninsula. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, **16**, 93-113.

Yokota, S. and Iwamatsu, A. (1999): Weathering distribution in a steep slope of soft pyroclastic rocks as an indicator of slope instability. *Engineering Geology*, **55**, 57-68.

(2005年5月31日受付, 2005年8月1日受理)

遷移過程のアカマツ二次林における 植物種間の根系分布の差異

Difference in Root System among Co-occurring Plants
in a Secondary Pine Forest Undergoing Succession

山中 勤*・松尾 大悟**・矢野 翠**・角張 順一***・
飯田 真一****・涌井 久司***・清水 亮介***・田中 正*

Tsutomu YAMANAKA*, Daigo MATSUO**, Midori YANO**,
Jun'ichi KAKUBARI***, Shin'ichi IIDA****, Hisashi WAKUI***,
Ryosuke SHIMIZU*** and Tadashi TANAKA*

1 はじめに

「日本は松柏科植物に富むこと全世界第一なり」という『日本風景論』(志賀, 1894)の記述を引用するまでもなく, アカマツは我が国で最もポピュラーな樹種の一つである。古来より人々は貧栄養の悪地に成育するこの樹木を愛し, また下草とともに伐採して薪炭材や用材として日々の暮らしに供してきた。しかしながら, こうした行為はむしろアカマツ林の維持に必要なものでもあった。なぜならアカマツは耐陰性の低い典型的な陽樹であるため, 下草やアカマツ成木が生い茂って林床面の受光量が低下すると稚樹が育たず, 世代更新が困難となるためである。すなわち, 我が国のアカマツ林のほとんどは天然のものではなく, 人為の加わった二次林である。ところが, 電気・ガスなどの社会基盤整備や外材の輸入が進むにつれて,

アカマツや下草の伐採といった森林管理が放棄されるようになり, 多くの地域でアカマツ林から陰樹林への二次遷移が進み始めた(藤井・陣内, 1979)。山下・林(1987)によれば, 関東地方では一般的にアカマツ林はシラカシ林へと遷移する。こうした二次遷移の進行は, 水収支要素の変化を引き起こす(Iida, 2003; Iida *et al.*, 2005)と同時に, 水や養分をめぐる競合を通じてアカマツの衰退をさらに加速させているとの報告もある(Kume *et al.*, 2003)。

Yamanaka *et al.* (2004) は同位体トレーサー手法を用いて, 先行植生であるアカマツが地下水もしくは深層土壤水を利用するのに対し, 侵入植生であるシラカシはより表層付近の土壤水, 同じくアズマネザサはその中間領域の土壤水をそれぞれ利用していることを明らかにした。こうした水源分化(water source separation)の事実は, 植物

* 筑波大学陸域環境研究センター

** 筑波大学第一学群自然学類

*** 筑波大学生命環境科学研究科大学院生

**** 筑波大学生命環境科学研究科

種間の競合・共存や遷移のメカニズムを明らかにする上で重要な知見であると言えるが、植物種ごとの根系分布との関係については実測データがないために深い議論はなされていない。一般に、アカマツはシラカシやアズマネザサと比較して深い根（垂下根）を持つとされ（苅住，1979）、深層から吸水しているという Yamanaka *et al.* (2004) の結果と整合的であるが、表層に根がないわけではなく、むしろ根量は浅層ほど多いという報告もある（杉田ほか，1986）。

以上のような背景から、本研究では Yamanaka *et al.* (2004) の観測サイトと同一の場所において根系調査を実施し、アカマツとシラカシならびにアズマネザサの間で根系分布にどのような差異があるかを明らかにする。

II 調査方法

1. 調査林分概要

対象とする林分は筑波大学陸域環境研究センターの南側に隣接するアカマツ二次林であり、その南東部の一画において 2005 年 5 月 7 日に根系調査を実施した。同一の区画ではないが、対象林分におけるアカマツ毎木調査は 20 年前から実施されており、1985 年前後から急激にその数を減じていることが明らかとなっている（山下・林，1987；宇佐美・及川，1993；飯田ほか，2001）。また、シラカシをはじめとする低木が近年生長しつつあることも報告されている（飯田ほか，2003）。

調査地点の表層土壌は黒ボク土であり、その下位に常総粘土層が位置している。こうした特徴は周辺部と変わりがないが、林分中央部や観測圃場における粘土層上限深度がおおよそ 2 m であるのに対し、本調査地点では 1.5 ~ 1.3 m 程度でしかなく、このため不圧地下水面も 1 m 内外とかなり浅い。

調査対象区画にはアカマツ (*Pinus*

densiflora Sieb. et Zucc.) とシラカシ (*Quercus myrsinaefolia* Blume) がやや距離をおいて点在するほか、コナラ (*Quercus serrata*) ・ヤマウルシ (*Rhus trichocarpa* Miq.) などの低木が存在し、その間を埋めるように草本植生であるアズマネザサ (*Pleioblastus chino*) が密生している。そこで、根系調査はアカマツとシラカシの近傍 2 地点（両地点の距離はおおよそ 15 m）で実施した。以下では、この 2 つの調査地点をそれぞれアカマツサイト (Pine site) およびシラカシサイト (Oak site) と呼ぶことにする。

2. 根系調査法

濱田ほか (1997) はトレンチ断面において根の本数（根量）を計測することにより根系分布の把握を試みた。この方法は比較的広い範囲の根系分布の概観を掴むのに適している。一方、根系の分布特性を評価する指標としては根量のほかに根密度（単位体積土壌中に含まれる根の総延長）やバイオマス（乾物重量）などがあるが、その測定には定容積の土壌コアを採取するなど、より大きな労力を必要とし、空間代表性の高い値を得るのは容易でない。そこで本研究では、広範囲の断面調査と部分的なコア採取を併用した。なお、根密度は根系の吸水抵抗をモデル化する際に用いられるパラメータの一つであり、バイオマスは生態系の地下部現存量を示す直接的指標である。以下に調査手順を簡潔に記す。

まず、対象木（アカマツもしくはシラカシ）の地際から距離 1 m の地点にトレンチを掘削し、法線方向の幅 1 m、深さ 1 m の土壌断面を露出させる。つづいて調査断面に 1 辺 20 cm の方形格子 25 個 (5 × 5) からなる 1 辺 1 m の木枠をあてがい、各格子内の根の本数を計測した。この際、根の直径によって細根 (2 mm 未満) ・小根 (2 ~ 5 mm) ・中根 (5 ~ 10 mm) ・大根 (10 mm 以上) の 4 つに区分した。また、細根以外については対象木とそれ以外の根を識別し、個別に記録し

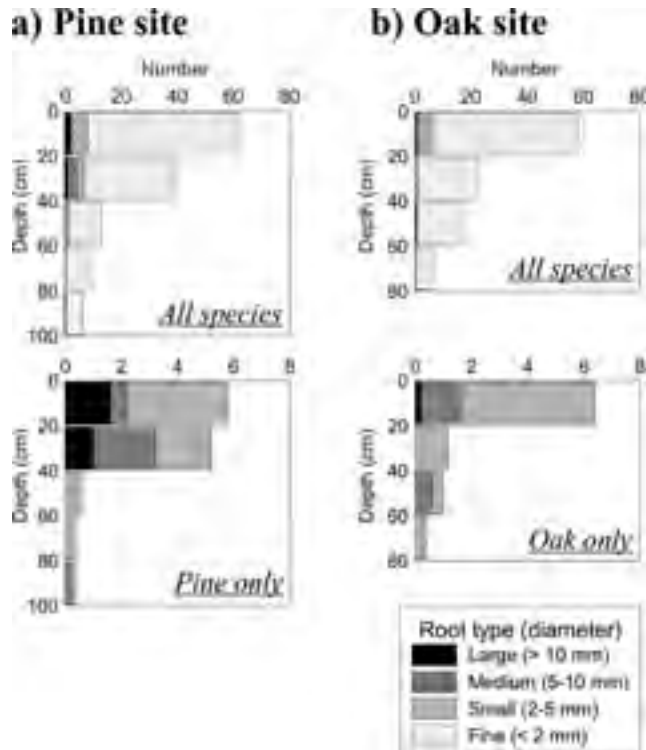
た。なお、二重計測を防ぐためカウント済みの根は切断した。根量の計測後、中央列の5個の格子それぞれについて、奥行き5 cmの直方体土塊(20 × 20 × 5 = 2000 cm³)を包丁で切り出した。採取した土塊は篩の上で水洗いし、生きた根を選別しながらアカマツ、シラカシ、アズマネザサ、および識別不能の4つのカテゴリーに区分した。得られた根のサンプルは土塊・カテゴリーごとに総延長を計測した後、紙製の封筒に入れて恒温乾燥機(80℃)で48時間乾燥させたうえで重量(バイオマス)を電子天秤で測定した。

III 結果と考察

1. 根量

第1図にアカマツ・シラカシ両サイトにおける

根量の鉛直分布を示す(上段は総根量, 下段はアカマツもしくはシラカシのみの根量)。なお、値は400 cm²の鉛直断面あたりの本数で、同じ深度帯の5つの小区画の平均値である。また、シラカシサイトでは地下水面深度が1 mに満たなかったため、80~100 cmの深度帯は欠測となっている。両サイトとともに総根量の鉛直分布は類似しており、表層部で60本程度、深度60 cm以深で10本以下である。また、総本数のおよそ90%以上を細根が占めるという特徴も同じである。直径2 mm以上の根の大部分はアカマツもしくはシラカシであるが、アカマツの大根・中根は20~40 cmの深度帯にも多いのに対して、シラカシの根は表層部に集中しており大根は少ない。しかし、中根が40~60 cmの深度帯に存在するなど、根系が表層のみに限定されているわけではない。



第1図 アカマツ・シラカシ両サイトにおける根量(鉛直断面400 cm²あたりの平均本数)の鉛直分布(上段は総根量, 下段はアカマツもしくはシラカシのみの根量)

各深度帯で根径毎に求めた変動係数 (Coefficient of Variation; CV) を第1表に示す。細根の変動係数は大径の根と比較して小さく、また深層ほど大きくなる傾向が読み取れる。このことは、細い根ほど水平方向の均質性が高いことを意味し、少数 (小範囲) のデータでも空間的代表性が高いと言える。また、深層では根の出現頻度が低いため、データの代表性を高めるためにはより広い範囲で計測を行う必要があることを示唆する。さらに重要なことは、種の識別が可能なお根以上のカテゴリで変動係数が大きくなる傾向があるという点であり、種毎の根系分布を評価する際にはその代表性に注意を払う必要がある。

2. 根密度

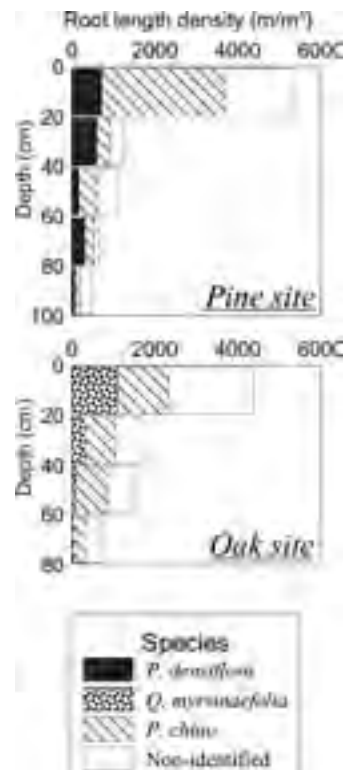
第2図に根密度の鉛直分布を示す。まず、アカマツは表層から深層に向けて徐々に根密度が減少しているのに対して、シラカシの根は表層に集中し、深層に向けた減少の程度も甚だしいという特徴が指摘できる。しかし、種の別を問わない総根密度ではその傾向はむしろ逆であり、アカマツサイトよりもシラカシサイトの方がプロファイルの曲率が小さい。なお、アカマツサイトではシラカシの根は見出せず、シラカシサイトでもアカマ

ツの根は検出されていない。また、識別不能な根の密度はシラカシサイトでやや大きいものの、鉛直分布としては両サイトで顕著な差がない。つまり、前述した樹種ごとの根密度プロファイルと総根密度プロファイルの相違は、両サイトにおけるアズマネザサの根系分布の違いに起因している。これは、Yamanaka *et al.* (2004) が見出した水源分離の観測事実と考え合わせると大変興味深い結果と言える。すなわちアズマネザサは、深層水源を利用するアカマツと近接する場合には表層付近の根系を充実させ、表層水源を利用するシラカシと近接する場合には根系を深部へと伸長させている、との推測が成り立つ。同一種 (アズマネザサ) の根系分布が他の種 (アカマツやシラカシ) との位置関係によって変化するという事実は、根系の形成・発展過程において何らかの種間相互作用 (interspecific interaction) が働いている可能

第1表 深度帯・根径毎に求めた根量の変動係数 (Coefficient of Variation; CV)

(a) Pine site							
Depth (cm)	All species				Pine only		
	Large	Medium	Small	Fine	Large	Medium	Small
0-20	0.42	1.33	0.24	0.22	0.31	1.33	0.57
20-40	0.63	0.80	0.71	0.20	0.63	0.78	1.05
40-60	N/A	2.00	0.63	0.33	N/A	N/A	0.82
60-80	N/A	N/A	1.22	0.25	N/A	N/A	1.22
80-100	N/A	2.00	2.00	0.56	N/A	2.00	2.00

(b) Oak site							
Depth (cm)	All species				Oak only		
	Large	Medium	Small	Fine	Large	Medium	Small
0-20	2.00	1.32	0.31	0.18	N/A	1.46	0.97
20-40	N/A	N/A	0.33	0.15	N/A	N/A	0.33
40-60	N/A	0.82	1.22	0.25	N/A	0.82	2.00
60-80	N/A	N/A	1.22	0.41	N/A	N/A	N/A



第2図 根密度の鉛直分布

性を示唆しているが、水をめぐる競合関係の回避のために植物が能動的にとった戦略の結果であると断言するためには今後より多くの調査事例を集積する必要があるだろう。

3. バイオマス

第3図に根密度の鉛直分布を示す。表層で大きく深層で小さいというプロファイル形状は、根量や根密度の鉛直プロファイルと類似したものが、幾つかの点で大きく異なる。まず、バイオマスに占める識別不能の根の割合がきわめて小さいことである。これは、それらの根のほとんど全てが直径1mmにも満たないものであったことから当然の結果ではあるが、バイオマスという点ではアカマツ・シラカシの占有率が高いことが改めて浮き彫りになった。次に、アカマツは深度40cm

以浅、シラカシは深度20cm以浅のバイオマスが際立って大きく、それ以深はほぼ一定の値を示すという特徴が挙げられる。このような結果は小根以上の根量(第1図)の分布と整合的である。つまり、地下部バイオマスの大半は表層部に存在する少数の太い根によって占められている。しかしながら、これらの根は吸水機能というよりもむしろ地上の樹幹を支持する機能や光合成産物を貯留するという機能において重要なものであろう。

4. 根密度およびバイオマスと根量の関係

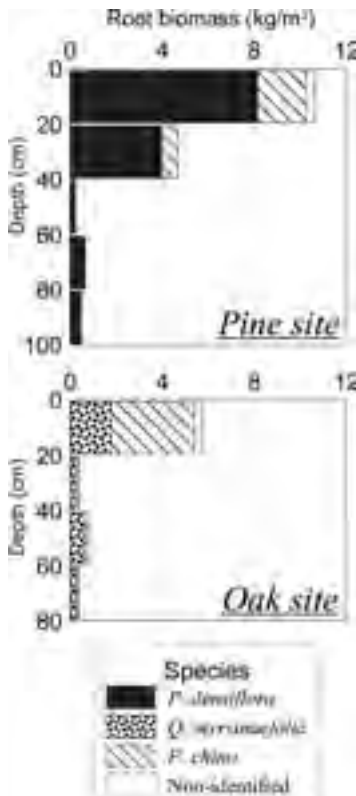
第2表に根密度およびバイオマスと根量の間の相関係数を示す。根量については同じ深度帯の平均値(N_{ave})のほか、土壌コアを採取した中央列の値(N_c)も用いた。根密度・バイオマス共に、全種を対象とした場合と、アカマツ・シラカシそれぞれに限定した場合の双方において、根量と高い相関を示している。また、根量データとして N_{ave} を用いた場合と N_c を用いた場合で大きな差異は見出せない。したがって、わずか一部分の土壌コアから得られたデータであっても、それはより広範囲の土壌断面全体の平均的な特徴を反映していると判断できる。

IV まとめ

シラカシやアズマネザサなどの陰性植物の侵入が著しいアカマツ二次林において、種毎の差異に

第2表 根量(N)と根密度(L)およびバイオマス(B)の間の相関係数(根量については同じ深度帯の平均値(N_{ave})と土壌コアを採取した中央列の値(N_c)の双方を用いた)

	Pine site		Oak site	
	All	Pine	All	Oak
L vs N_{ave}	0.90	0.95	1.00	0.93
L vs N_c	0.90	0.96	0.99	0.96
B vs N_{ave}	0.98	0.93	0.96	0.82
B vs N_c	0.99	0.99	0.96	0.84



第3図 バイオマスの鉛直分布

注目した根系調査を実施した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) アカマツ・シラカシ共に、根系は深度 1 m 程度にまで及ぶが、根量・根密度・バイオマスのいずれもが表層部（深度 20 cm 以内）で最も高い値を示す。
- (2) 根の吸水機能と密接に関わる根密度に注目すると、シラカシの根が表層部に集中しているのに対して、アカマツは深度方向の変化率が小さい。またアズマネザサは、アカマツ近傍では表層部の根系が充実しているのに対してシラカシ近傍ではより深部にまで拡張されており、他の植物種との位置関係によって異なる根系分布特性を持つ。

今後は、種間相互作用の実態と水源分化のメカニズムを明らかにすべく、遷移段階が異なる林分における根系調査や吸水深度調査の事例を増やしてゆく必要がある。

文献

- 飯田真一・濱田洋平・田中 正 (2001)：筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林の胸高直径と立木密度の変化について。筑波大学陸域環境研究センター報告, **2**, 1-6.
- 飯田真一・濱田洋平・安部 豊・田中 正 (2003)：筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林の下層植生について。筑波大学陸域環境研究センター報告, **4**, 1-9.
- 宇佐美哲之・及川武久 (1993)：アカマツ林内の光微環境とシラカシ稚樹の成長特性。筑波大学水理実験センター報告, **17**, 79-89.
- 苅住 昇 (1979)：「樹木根系図説」誠文堂新光社, 1121 p.
- 志賀重たか (1894)：「日本風景論」(近藤信行校訂, 1995, 岩波書店, 395 p.)
- 杉田倫明・山下孔二・古藤田一雄 (1986)：アカマツの形態構造。筑波大学水理実験センター報告, **10**, 47-52.
- 濱田洋平・小林義和・田中 正 (1997)：カラマツおよびミズナラ林土壌における根系分布。筑波大学農林技術センター演習林報告, **13**, 103-118.
- 藤井英二郎・陣内 巖 (1979)：関東地方におけるマツ平地林の林床管理と植生遷移 (I) 種組成と生活型組成 (種数による) について。日本林学会誌, **61**, 76-82.
- 山下寿之・林 一六 (1987)：茨城県筑波におけるアカマツ林からシラカシ林への遷移過程の解析。筑波大学農林技術センター演習林報告, **13**, 59-82.
- Iida, S. (2003): Change of water balance in Japanese red pine forest under the successional process. Doctoral Thesis, Univ. of Tsukuba, 206 p.
- Iida, S., Tanaka, T. and Sugita, M. (2005): Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. *Journal of Hydrology*, (in press).
- Kume, A., Satomura, T., Tsuboi, N., Chiwa, M., Handa, Y. T., Nakane, K., Horikoshi, T. and Sakugawa, H. (2003): Effects of understory vegetation on the ecophysiological characteristics of an overstory pine, *Pinus densiflora*. *Forest Ecology and Management*, **176**, 195-203.
- Yamanaka, T., Iizuka, S. and Tanaka, T. (2004): An isotope-ecohydrological study on water use strategy of plants in a suburban secondary forest. *EOS Trans. AGU*, **85**, West. Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract B12A-05.
- (2005年5月31日受付, 2005年7月20日受理)

陸域環境研究センターにおける蒸発散量推定法の検討

Consideration for the Estimation Methods of Evapotranspiration
at Terrestrial Environment Research Center

藪崎 志穂*・田瀬 則雄**・萩野谷 成徳***

Shiho YABUSAKI*, Norio TASE** and Shigenori HAGINOYA***

Abstract

To estimate evapotranspiration rate near a trench covered with turf at Terrestrial Environment Research Center (TERC), University of Tsukuba, we used the Penman method. For evaluating the actual evapotranspiration, potential evaporation needs to be corrected by a reduction factor (f). In TERC, the reduction factor has been determined by Nakagawa (1984). This value was estimated under the condition that the soil surface was covered with pasture. To investigate whether the reduction factor for pasture can be possible to use for the turf site, we compared the evapotranspiration estimated by Penman method, energy balance/eddy correlation method and energy balance/Bowen ratio (EBBR) method. EBBR was investigated at turf site (Meteorological Research Institute). Since the evapotranspiration estimated by Penman method using the reduction factor for pasture agreed with the evapotranspiration estimated by EBBR, the reduction factor for pasture can be possible to use for the turf site.

1 はじめに

土壌水の安定同位体比鉛直プロファイルや土壌水分量の観測結果を利用して求めた地下水涵養量の検証を行う方法の一つとして、蒸発散量の推定値を用いて流出量（涵養量）と比較する方法が挙げられる。降水量は比較的容易に実測することが可能であるが、蒸発散量を実測するには多大な労

力を要し、また特殊な機器を必要とするなど困難を伴う。従って、多くの場合、モデルによって蒸発散量を推定する方法が用いられている。

蒸発散量の推定方法にはソーンスウエイト法 (Thornthwaite, 1948) やペンマン法 (Penman, 1948) などがある。ソーンスウエイト法は月平均気温が既知であれば蒸発散量を求めることができるという簡便さを備えている。しかしなが

* 筑波大学陸域環境研究センター

** 筑波大学生命環境科学研究科

*** 気象研究所物理気象研究部

ら、この方法は合衆国の実測値に適合するように経験的に求められたものであるため、他の地域へ適用するには注意が必要とされる（市川，1973；梶根，1980，など）。ペンマン法は熱収支法と空気力学的方法を組み合わせた式によって可能蒸発量を推定する方法である。可能蒸発散量は「植物で完全に覆われた地表面に十分な水を供給した場合に失われる蒸発散量」と定義されており（梶根，1980），大気側の要求する最大の蒸発散量を示す。従って，実際にはペンマン法によって求めた可能蒸発量よりも少ない蒸発散量しか生じ得ない。可能蒸発量から実際の蒸発散量を導くためには，経験的に求められた係数（ f ）を乗じる必要がある。Penman（1948）は，イギリスのRothamsteadにおいて， f は冬（11～2月）では0.6，春と秋（3～4月および9～10月）では0.7，夏（5～8月）では0.8であり，年平均値は0.75であることを示した。日本では f の年平均値として0.6～0.7の値を用いる場合が多いとされているが（新井，2004），植生などによって異なってくるため，研究地域によって差異が生じる。

ペンマン法により実蒸発散量を推定する際には，同地点で経験的に求められた補正係数 f を用いて計算を行うことが望ましい。Nakagawa

（1984）は筑波大学陸域環境研究センター（以下，TERCとする）において観測を行い f の値を求めている（Table 1）。この研究では牧草で覆われた地表面を対象としている。しかしながら，著者らが実蒸発散量を推定しようと試みる地点（TERCトレンチ）は芝で覆われており，牧草地で経験的に求められた f の値を芝植生の地点に適用できるかどうかを確認することが必要である。本研究では，TERCおよび他の研究所において，ペンマン法，熱収支法およびボーエン比法を用いて蒸発散量を求め，それぞれの値を比較してペンマン法の補正係数 f 値の検討を行った。

II 研究方法

1. TERCにおける観測，熱収支法およびペンマン法の概要

TERC 圃場では，正味放射計，全天日射計などが設置され，各種観測が実施されている。圃場内は春～秋まではススキ植生で覆われている。一方，蒸発散量の推定を試みる地点はTERC構内に設置されているトレンチ周辺である。トレンチ周辺は，疎らな芝で覆われている（Fig.1）。TERCでは，熱収支法およびペンマン法によって蒸発散量を推定した。

熱収支法では観測圃場に設置されている超音波

Table 1 The reduction factor in the Penman method measured at the Terrestrial Environment Research Center covered with the pasture (Nakagawa, 1984)

	f
January	0.3
February	0.3
March	0.3
April	0.4
May	0.7
June	0.7
July	0.8
August	0.8
September	0.8
October	0.7
November	0.6
December	0.4



Fig.1 Surrounding condition near the trench at TERC covered with turf

風速温度計の観測データを用い、次式によってまず顕熱フラックスを求める。

$$H = C_p \cdot \overline{\rho w' T'} \quad (1)$$

ここで、 H は顕熱フラックス (W/m^2)、 C_p は空気の定圧比熱 ($= 1005 \text{ J/kg/K}$)、 ρ は空気の密度 ($= 1.275 \text{ kg/m}^3$)、 w は風速の鉛直成分、 T は気温 ($^{\circ}\text{C}$)であり、 \bar{w} および \bar{T} はそれぞれ風速および気温の平均値、 w' および T' は平均値からの偏差である。 H を求めた後、次式により潜熱フラックスを求める。

$$R_n - H - G = LE \quad (2)$$

ここで、 R_n は正味放射量 (W/m^2)、 G は地中熱流量 (W/m^2)、 LE は潜熱フラックス (W/m^2)である。計算によって求められた LE を蒸発の潜熱入で割ることにより、蒸発散量が得られる。

ペンマン法は、次式で示される。

$$E_{PE} = \frac{\Delta (R_n - G)}{\Delta + \gamma} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_A \quad (3)$$

ここで、 E_{PE} は可能蒸発散量 ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)、 Δ は気温 t における飽和水蒸気圧曲線の勾配、 γ は乾湿計定数、 E_A は空気力学的な効果による蒸発をあらわす項で、次式によって示される。

$$E_A = \frac{(e_a^* - e_a)}{f(u)} \quad (4)$$

ここで、 e_a^* は気温 t における飽和水蒸気圧 (hPa)、 e_a は水蒸気圧 (hPa)、 $f(u)$ は風速の関数であり、(5)式から導かれる。

$$f(u) = 0.26(1 + 0.54u) \quad (5)$$

u は高度2mの平均風速 (m/s)である。

(5)式から求められた可能蒸発散量 E_{PE} に補正係数 f を掛けることにより、実蒸発散量 E を求めることができる。

$$E = f E_{PE} \quad (6)$$

本研究では、 f の値は牧草の植生条件で経験的に求められたNakagawa (1984)の値を利用した。

2. 気象研究所における観測およびボーエン比法の概要

筑波大学の南約6kmに位置する気象研究所構内の圃場において、2高度間(50cmと180cm)の温度および湿度、地中熱流量、正味放射量および気圧の観測が行われている。これらの観測データを用いて、ボーエン比法により蒸発散の推定を行った。観測を実施している圃場は芝植生となっている(Fig.2)。またボーエン比法観測システムについてもFig.2に示した。

ボーエン比法は、以下の式であらわされる(Bowen, 1926)。

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{C_p(\theta_1 - \theta_2)}{\lambda(q_2 - q_1)} \quad (7)$$

ここで β はボーエン比、 θ は気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 q は水蒸気圧 (hPa)であり、下付き文字の1と2は2高度におけるそれぞれの値を示している。潜熱フラックス LE は、次式から導かれる。

$$LE = \frac{(R_n - G)}{(1 + \beta)} \quad (8)$$

ボーエン比法では2高度間の水蒸気圧の差が分母となっているため((7)式)、この差が0に近くなるとボーエン比は正常な値から大きく外れた値となってしまう。従ってエラーを導く値を計算から除く必要がある。このデータのチェックは

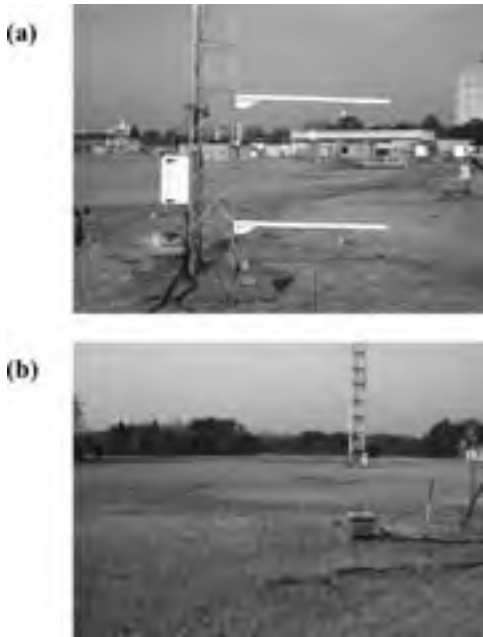


Fig.2 (a) Observation system of energy balance/Bowen ratio (EBBR) method, and (b) condition of the observation site covered with turf in Meteorological Research Institute, Tsukuba

Ohmura (1982) に基づいて実施した。

III 結果・考察

ペンマン法, 熱収支法およびボーエン比法による各推定法の月別データを Fig.3 に, 2001 年の年データを Fig.4 に, また数値データを Table 2 に示した. ペンマン法および熱収支法は TERC で, ボーエン比法は気象研究所の構内で観測したデータをもとに計算を実施した.

2001 年のつくば市における総降水量は 1294.7 mm であり (TERC の観測値を利用. 欠測期間については, 高層気象台のデータで補完した), この値は 1971 ~ 2000 年の 30 年間の年降水量の平年値 (1235.3 mm) とほぼ一致している (藪崎・田瀬, 2005). Fig.3 および Fig.4 では, 熱収支法による蒸発散量が他の 2 つの推定法の値よりも相対的に多くなっている. これは, 観測を行っている場所がススキ植生であるため, 比較的丈の短い

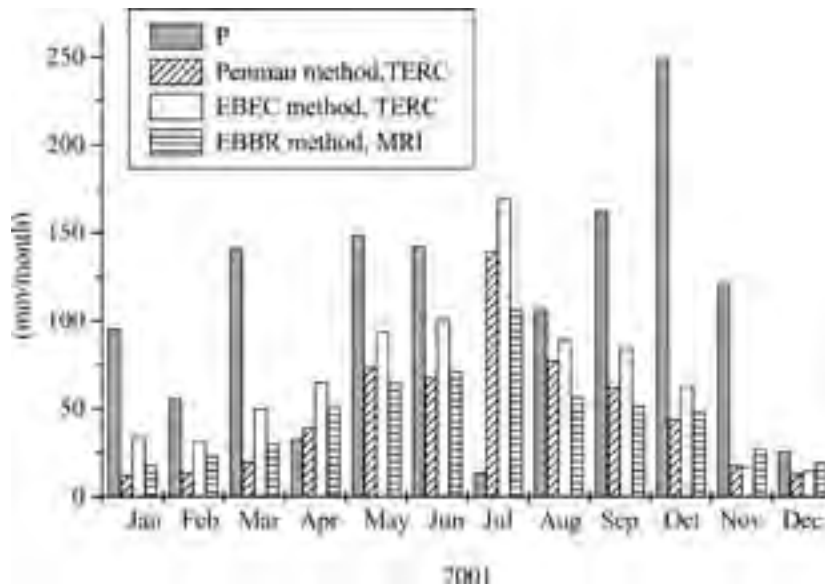


Fig.3 Calculated values of evapotranspiration determined by Penman method, energy balance/eddy correlation (EBEC) method by observation data in TERC and energy balance/Bowen ratio (EBBR) method by observation data in Meteorological Research Institute for every month of 2001 (P is precipitation amount, E is evaporation and ET is evapotranspiration)

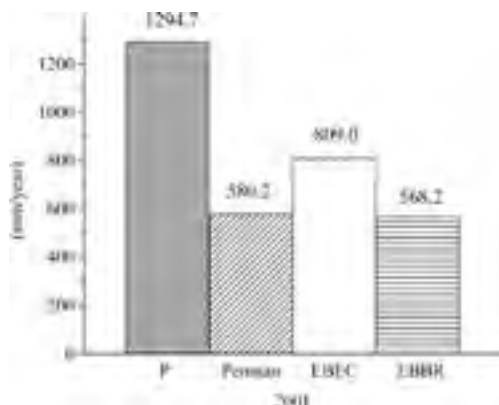


Fig.4 Comparison of the evapotranspiration among Penman method, energy balance/eddy correlation (EBEC) method and energy balance/Bowen ratio (EBBR) method of 2001

牧草や芝の植生条件に対してススキ植生条件の方が蒸散量は多く発生していることに起因している

と考えられる。熱収支法とペンマン法およびボーエン比法による推定値との差が、特に春から秋にかけて大きくなっていることから、上述のことが示唆される (Fig.3)。

一方、ペンマン法とボーエン比法による蒸発散量値はほぼ同じ値となっている。ボーエン比法の観測は芝植生の条件下で行っており、この値とペンマン法によって求めた値がほぼ一致しているということから、Nakagawa (1984) によって示された牧草地におけるペンマン法の補正係数 f を芝植生に代用することが可能であると考えられる。年蒸発量は、ペンマン法では 580.2 mm、ボーエン比法では 568.0 mm であり (Fig.4)、この値は Nakagawa (1984) によって求められた年蒸発散量 (580.7 mm : 1980 年, 533.3 mm : 1981 年) とほぼ一致した。また降水量に対する蒸発散量の割合はいずれの場合も約 44% と同様の値を示して

Table 2 Calculated values of evapotranspiration determined by Penman method, energy balance/eddy correlation (EBEC) method by observation data in TERC and energy balance/Bowen ratio (EBBR) method by observation data in Meteorological Research Institute

Year	Month	Rainfall amount			Evaporation				
		observed at TERC ^{*1}	observed at AO ^{*2}	observed at GB ^{*3}	potential evaporation	Penman method		EBEC method	EBBR method
						evaporation	evapotranspiration	evapotranspiration	
		P_{OTERC} (mm)	P_{OAO} (mm)	P_{CAL} (mm)	E_p (mm)	f^*	E_{PEN} (mm)	E_{EBEC} (mm)	E_{EBBR} (mm)
2001	1	95.6	102.0	117.0	41.2	0.3	12.4	33.7	17.9
	2	55.7	17.0	39.0	45.8	0.3	13.7	30.9	23.3
	3	140.9	119.5	118.0	66.1	0.3	19.8	49.6	30.3
	4	32.5	30.5	36.0	98.7	0.4	39.5	64.8	50.8
	5	149.1	165.0	186.0	105.2	0.7	73.7	93.5	64.7
	6	142.5	133.0	151.0	96.7	0.7	67.7	100.7	71.3
	7	13.5	18.0	13.0	174.2	0.8	139.3	169.2	106.6
	8	106.6	80.0	88.0	96.6	0.8	77.3	88.8	56.8
	9	162.9	166.5	106.0	77.7	0.8	62.1	83.9	51.7
	10	249.5	271.5	268.0	62.9	0.7	44.0	62.7	47.9
	11	120.2	92.0	84.0	29.4	0.6	17.6	16.7	27.6
	12	25.7	25.5	24.0	32.6	0.4	13.0	14.5	19.3
Sum	1294.7	1220.5	1230.0	927.1		580.2	809.0	568.2	

*1: Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba

*2: Aerological Observatory in Tateno, Tsukuba

*3: roof top of the Geoscience building, University of Tsukuba

*4: Meteorological Research Institute in Tateno, Tsukuba

*5: calculated value from the sampled rainfall water amount in every event

*6: reduction factor in the Penman method (Nakagawa, 1984)

いる。

最後に、Nakagawa (1984) による f の値と、熱収支法 (EBEC)、ボーエン比法 (EBBR) およびペンマン法による蒸発散量をそれぞれ比較して求めた f の値を、Table 3 にまとめた。Nakagawa (1984) の f 値 (牧草) とボーエン比法によって求めた f 値 (芝植生) は、季節的にみると若干の差異が認められるが、年間を通じてみた場合にはほとんど一致していることから、牧草地におけるペンマン法の補正係数 f を芝植生に代用することが可能であるという上述の結論が示唆される。しかしながら、Nakagawa (1984) の f 値 (牧草) と熱収支法によって求めた f 値 (ススキ植生) を比較すると、後者の方が値は大きくなっており、現在の TERC 圃場 (ススキ植生) の蒸発散量をペンマン法によって求める場合、過去に牧草条件下で求められた f 値をそのまま利用するには検討が必要であると考えられる。

Table 3 Calculated values of reduction factor (f) determined by energy balance/eddy correlation (EBEC) method by observation data in TERC and energy balance/Bowen ratio (EBBR) method by observation data in Meteorological Research Institute

Site	f^{*1}	f	f
	TERC	TERC (EBEC)	MRI (EBBR)
Vegetation	<i>pasture</i>	<i>eulalia</i>	<i>turf</i>
January	0.3	0.8	0.4
February	0.3	0.7	0.5
March	0.3	0.8	0.5
April	0.4	0.7	0.5
May	0.7	0.9	0.6
June	0.7	1.0	0.7
July	0.8	1.0	0.6
August	0.8	0.9	0.6
September	0.8	1.1	0.7
October	0.7	1.0	0.8
November	0.6	0.6	0.9
December	0.4	0.4	0.6

*1: reduction factor in the Penman method (Nakagawa, 1984)

IV まとめ

TERC の牧草植生条件のもとで経験的に求められたペンマン法の補正係数 f の値を、TERC の芝植生に適用することができるかを検討するために、熱収支法およびボーエン比法を用いて蒸発散量を求め、各値の比較を行った。その結果、TERC の芝植生とはほぼ同様の植生条件で観測が行われている気象研究所のボーエン比法による蒸発散量と、牧草での f 値を利用して求めた TERC における蒸発散量はほぼ一致した。このことから、TERC の芝植生条件において、牧草条件で求めた f 値を代用した蒸発散量の推定が可能であることが示唆された。

謝辞

本研究を行うに当たり、生命環境科学研究科の小谷亜由美氏には蒸発散推定法に関するご助言を頂きました。また査読者の方々には有意義なご指摘を頂きました。記して御礼申し上げます。

文献

- 新井 正 (2004) : 地域分析のための熱・水収支水文学. 古今書院, 309p.
- 市川正巳 (1973) : 水文学の基礎. 古今書院, 309p.
- 榎根 勇 (1980) : 水文学. 大明堂, 272p.
- 藪崎志穂・田瀬則雄 (2005) : つくば市における降水の安定同位体比の特徴について. 水文・水資源学会誌, **18**, 590-600.
- Bowen, I. S. (1926): The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, **27**, 779-787.
- Nakagawa, S. (1984): Study on evapotranspiration from pasture. *Environmental Research Center Papers, the University of Tsukuba*, **4**, 1-87.

Ohmura, A. (1982): Objective criteria for rejecting data for bowen ratio flux calculations. *Journal of Applied Meteorology*, **21**, 595-598.

Penman, H. L. (1948): National evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Ser. A., Mathematical and Physical Sciences*, **193**,

120-145.

Thornthwaite, C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, **38**, 55-94.

(2005年5月31日受付, 2005年7月31日受理)

ウェイングライシメータによる 蒸発散量長期観測データの解析と クオリティーコントロール

Analysis of Long-term Evapotranspiration Data Observed by
Weighing Lysimeter and Its Quality Control

齊藤 誠*・山中 勤**

Makoto SAITO* and Tsutomu YAMANAKA**

1 はじめに

地表面から大気へ輸送される水蒸気量（すなわち、蒸発散量）は気象条件や気候変動に影響を及ぼす非常に重要なパラメータである。また、将来の気候予測をする上でも、様々な生態系における長期間の蒸発散量の変動についての良質な観測データを提供することが望まれている。筑波大学陸域環境研究センター（以下、TERC）における熱収支・水収支観測圃場（以下、観測圃場）は関東平野の東北部、筑波山の南方約12 kmの小貝川と桜川に囲まれた台地上に位置し、半径80 mの円形をした草地となっている。当観測圃場では、水文観測データについては1977年8月から、気象・気候観測データについては1978年8月から観測がそれぞれ開始され、現在に至るまでの四半世紀以上にわたって継続的にルーチン観測が行われている。蒸発散量については、ウェイングライシメータ（以下、ライシメータ）による直接測定と、熱収支法による間接測定との2つの独立した方法によって求めることが可能である。

しかしながら、1990年以降になりライシメータによる蒸発散量の1時間平均値にばらつきが見られるようになった事が檜山ほか（1993）によって報告されている。その原因として、田ほか（1994）は入力信号に含まれるノイズと蒸発散量を算出する計算処理を問題として挙げている。その後、1994年9月17日には落雷のためにライシメータが故障し、1995年6月1日より新しい秤で観測が再開された（田ほか、1995）。この更新に伴い秤量感度が500 g（水深換算0.16 mm）から100 g（同0.032 mm）に変更されたが、感度を上げた事により風の影響を受けるようになってしまった（田ほか、1995）。新村・杉田（1999）では、内部回路に平均化処理を行うコントローラーを導入し、平均化時間を20分に設定することで風の影響を取り除く事に成功している。このようにして、問題を含みながらも長期間にわたって取得された蒸発散量や水文・気象データは、現在TERCホームページ上（<http://erc3.suiri.tsukuba.ac.jp/>）で公開されており自由に利用することが可能になっている。そこで、本報告では公開されている

* 筑波大学生命環境科学研究科大学院生

** 筑波大学陸域環境研究センター

データをもとに蒸発散量のデータを整理し、その問題点を報告する。

II データ説明

ライシメータは TERC 内の観測圃場のほぼ中央に設置されている。測定原理は、上皿式の大型の秤の上に土壌を入れた容器を載せ、蒸発散による容器の微小な重量変化を電子天秤で計測するものである。容器は直径 2 m、高さ 2 m のステンレス製であり、重量測定範囲は 0 ~ 250 kg、秤量感度は 100 g に設定されている。ライシメータは周囲と同じ状態の土壌で充たされており、土壌表面も周囲と同じ植生状態が保たれている。ライシメータの内部回路や構造の詳細については古藤田ほか (1978)、新村・杉田 (1999) などを参照されたい。ライシメータによって測定された蒸発散量 (ET ; mm) を潜熱フラックス (IE ; Wm^{-2}) へ変換するには以下の式を使用した。

$$IE = ET \cdot \rho \cdot \frac{L_e}{\Delta t} \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

ここで、 L_e は気温 T_a (°C) における蒸発潜熱 ($J kg^{-1}$)、 Δt は ET を測定した時間 (s) であり本解析では $\Delta t = 3600$ である。 ρ は水の密度 ($=1000 kgm^{-3}$) である。 L_e は Fritschen and Gay (1979) より、

$$L_e = 2500250(1 - 0.0009467T_a) \quad (2)$$

とする。

渦相関法システムは観測圃場中央にある気象観測鉄塔 (高度 30.5 m) の 2 高度 (1.6 m, 29.5 m) に設置されている。本報告では高度 1.6 m (夏期は植生の成長に伴い高度 2.2m に移動されるので注意。移動の時期などの詳細については各年の熱収支・水収支観測資料を参照されたい) で測定されたデータを使用する。渦相関法による潜熱フ

ラックス (IE ; Wm^{-2}) は以下の熱収支式より算出した。

$$IE = R_n - G - H \quad (3)$$

ここで、 R_n は正味放射量 (Wm^{-2})、 G は地中熱流量 (Wm^{-2})、 H は顕熱フラックス (Wm^{-2}) である。顕熱フラックスは次式で与えられる。

$$H = \rho_a c_p \overline{w'T'} \quad (4)$$

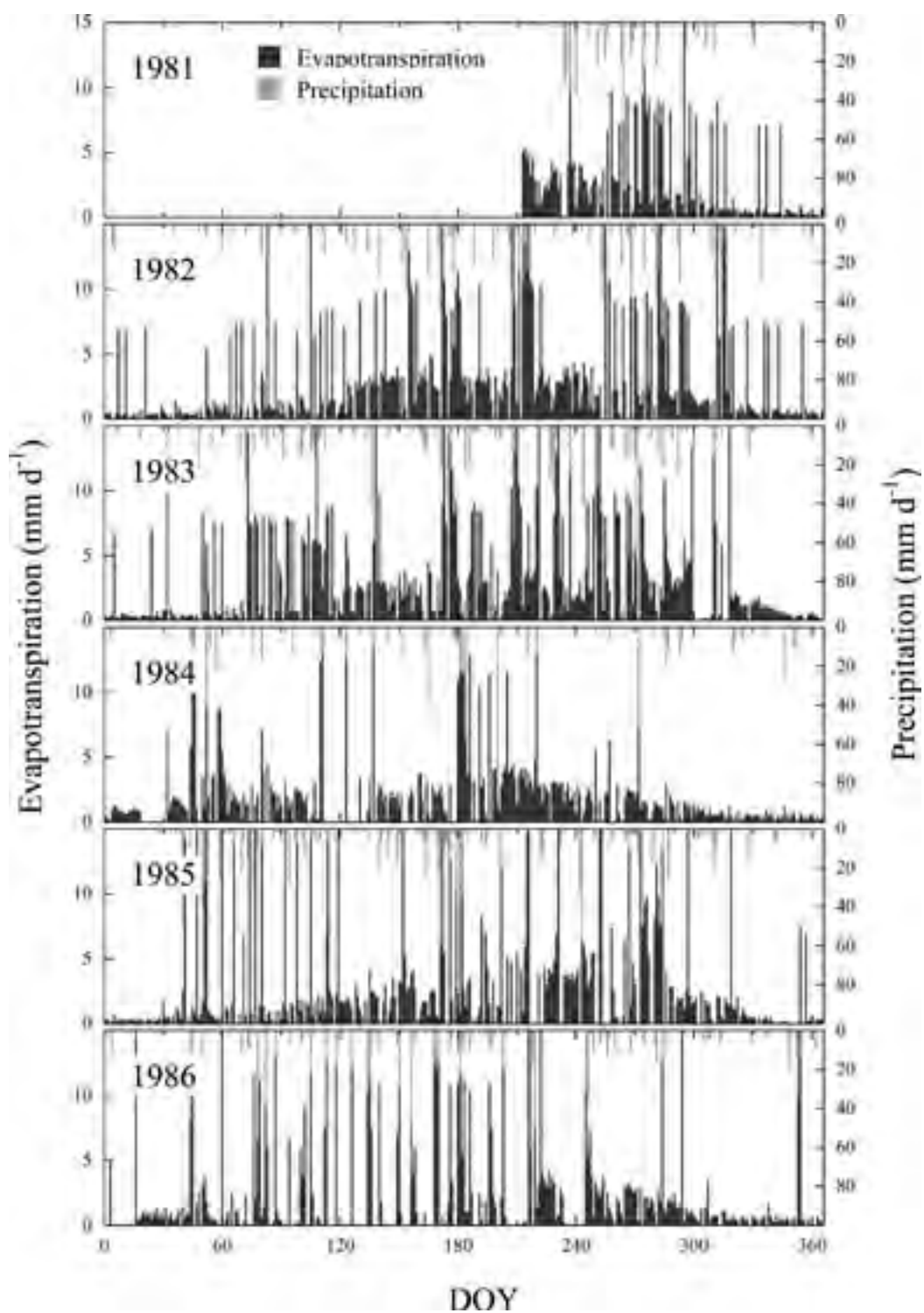
ここで、 ρ_a は空気の密度 ($kg m^{-3}$)、 c_p は空気の定圧比熱 ($J kg^{-1} K^{-1}$)、 w は風速の鉛直成分 ($m s^{-1}$)、 T は気温 (K) であり、 $\overline{w'T'}$ は超音波風速温度計によって測定された鉛直風と気温の共分散である (バーは平均、プライムは平均からの偏差を示す)。TERC における渦相関法システムの詳細については、古藤田ほか (1978)、齊藤・浅沼 (2004) などを参照されたい。また、大気や熱流板より上の土壌の貯熱の効果は非常に小さい事が楢山ほか (1993) によって報告されているため、本報告では熱収支式を解く上でこれらの貯熱量変化項は無視する。

本報告では、1981 年 8 月から 2002 年 12 月までの 22 年間を解析対象期間とする。

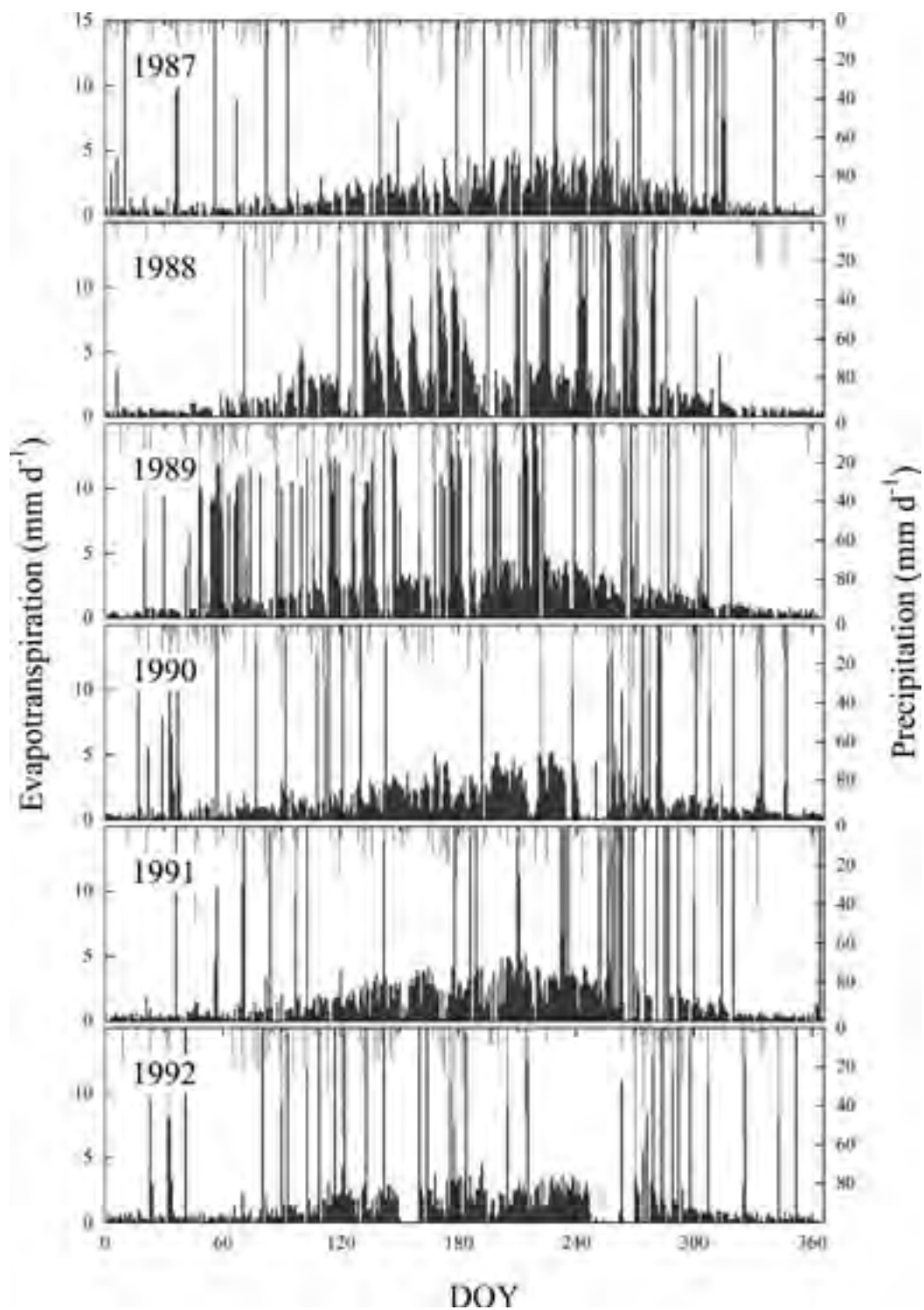
III ライシメータの測定精度

1. ライシメータによる ET の長期変動

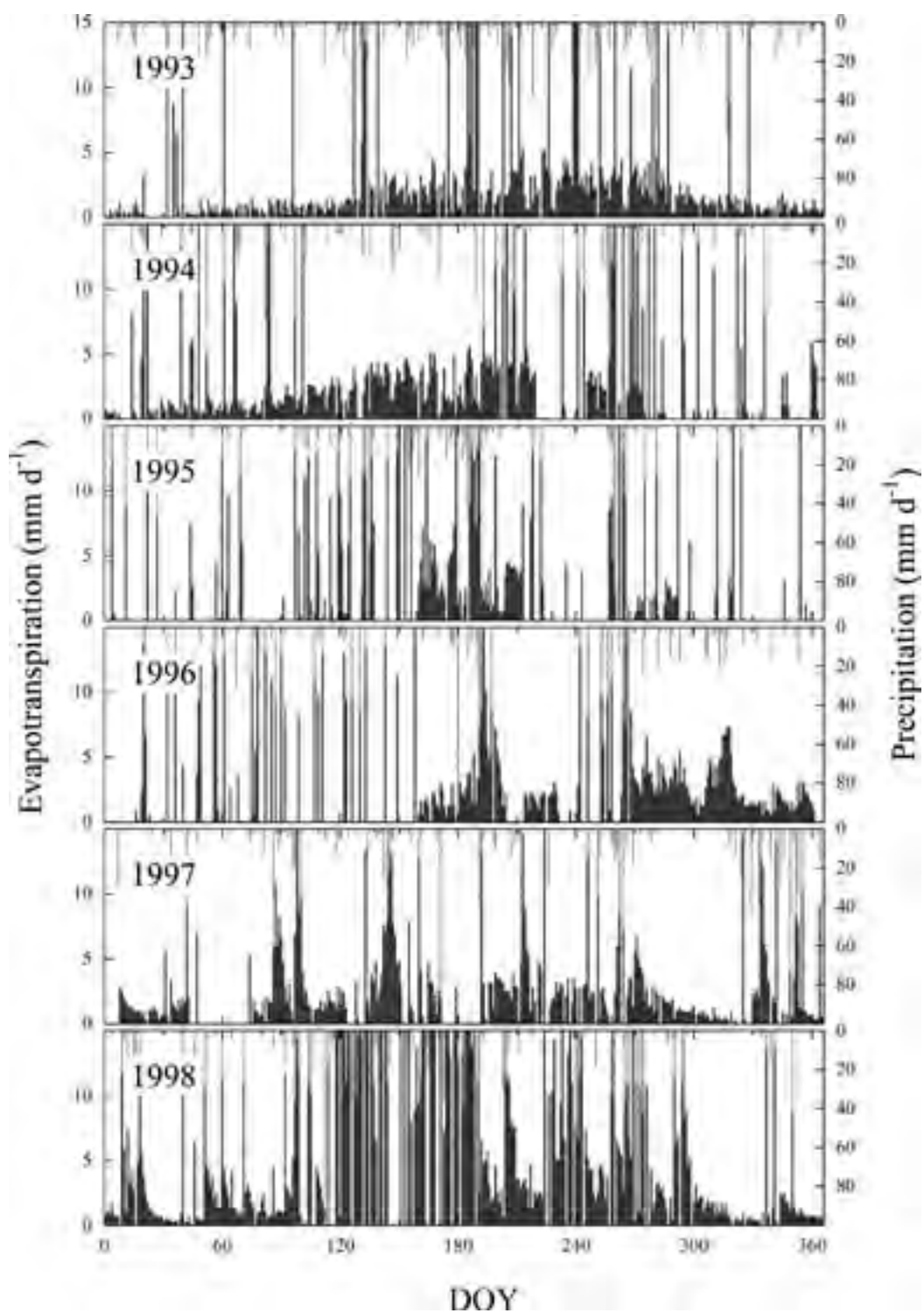
第 1 図に、1981 年 8 月から 2002 年 12 月までの期間における日蒸発散量 ($mm d^{-1}$) と日降水量 ($mm d^{-1}$) の変動を示す。また、田ほか (1995) や熱収支・水収支観測資料をもとに、ライシメータの長期欠測もしくは不調により、異常値を出力している期間が報告されているものについて第 1 表にまとめる。ライシメータのデータを使用する際には、第 1 表に示した期間については注意をして頂きたい。また、降雨時や降雨直後は日蒸発散



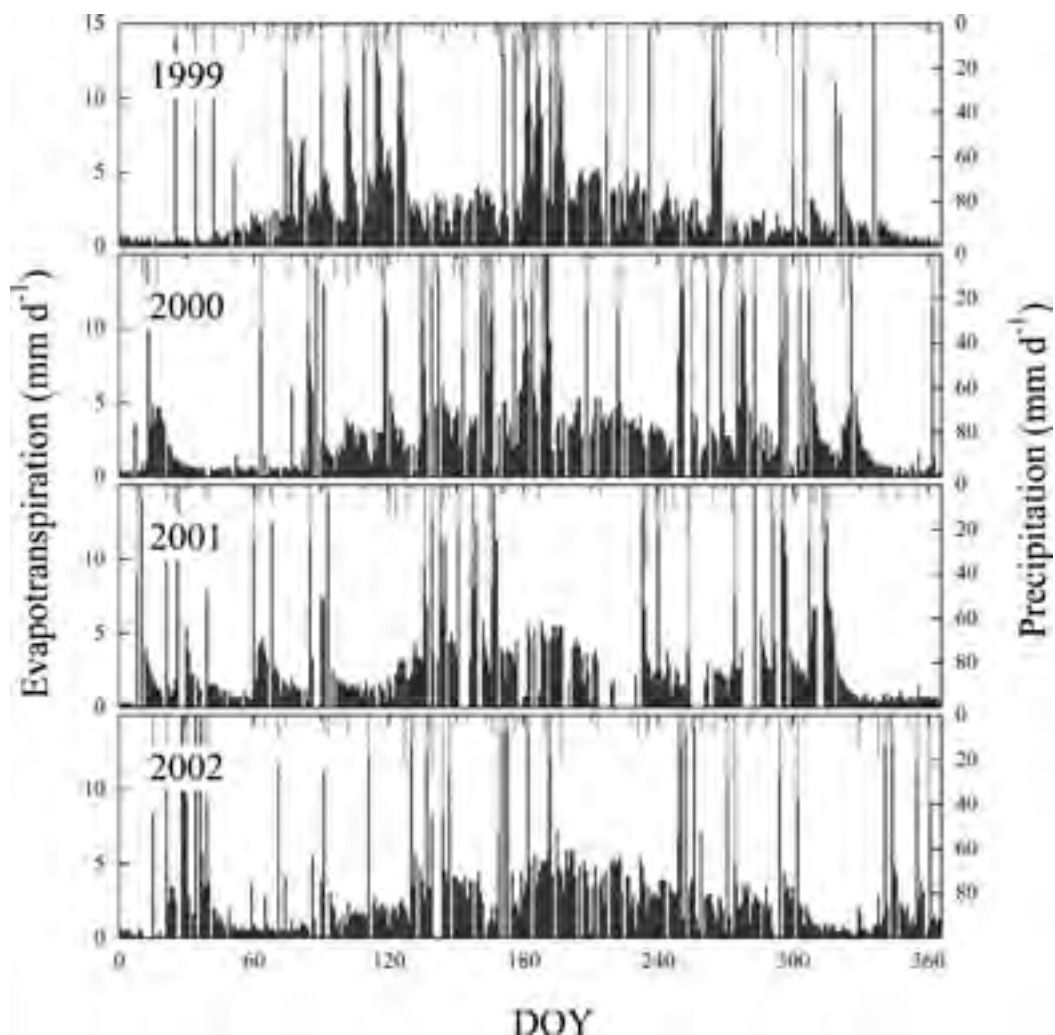
第1図 1981年8月から2002年12月までの日積算蒸発散量と降水量の変動



第1図 続き



第1図 続き



第1図 続き

第1表 ライシメータの長期間欠測もしくは不調の期間

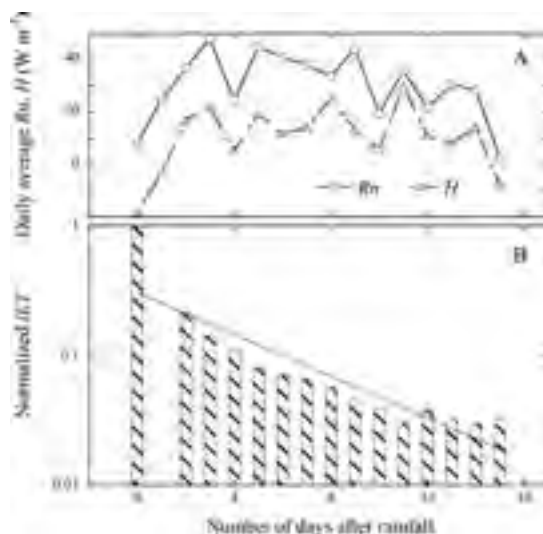
期間	原因
1983/09/27 - 1983/11/16	ライシメータの不調
1984/04/19 - 1984/05/16	光電式秤量計の光源電球劣化
1985/06/27 - 1986/09/03	異常値出力に伴い、この期間に数回に渡り修理が行われている原因は不明
1988/04/29 - 1988/05/14	秤量計出力信号交換機の故障
1988/09/29 - 1988/10/13	水没により排水バルブの修理
1990/08/31 - 1990/09/20	測器のスケールオーバー
1994/09/17 - 1995/06/01	落雷によるライシメータの故障
1995/06/01 - 1997/12/10	感度を高めたことにより風の影響が入り、データの信頼性無し
1997/12/10 - 1998/07/08	トラブル

量の値は極端に上昇もしくは下降する傾向があるために解析に使用するには不適合であると思われる。1994年9月17日の落雷以前に使用されていたライシメータは、降雨直後は異常値を出力しているが、数日以内には日蒸発散量の極端な値は解消される。これに対し、落雷後に設置された新しいライシメータは降雨時に上昇した日蒸発散量その後緩やかに減衰して行き、のこぎりの刃のような日蒸発散量の変動をしている。この傾向は蒸発散量が少ない冬の時期に顕著に表れる。このことから、何らかの問題が発生している可能性が高いと考えられる。この問題についてはⅢの2.で取り上げることにする。

第1図に示すように、ライシメータのデータには多くのノイズが含まれている事がわかる。このために、使用の際には何らかのクオリティーコントロールを行う必要がある。本報告では簡易的なクオリティーコントロールを行い、その結果についてはⅢの4.に記す。しかしながら、一年を通しての蒸発散量の変動傾向は表れており、この傾向をいかに抽出するかが一つの課題であると思われる。

2. 降雨の影響

第2図に、2000年11月21日から12月6日における日平均正味放射量と顕熱フラックスの変動(A)と、11月21日の日蒸発散量で正規化した日蒸発散量の変動(B)を示す。第2図(B)において降雨後1日目のデータが欠測になっているが、これは日蒸発散量がマイナスの値を示したためである。この期間を選んだのは、十分な降雨があり、かつ降雨後しばらくの間無降雨が続く夏場に比べて、蒸発散量の値が小さいためにライシメータのトラブルを抽出しやすい、という理由からである。11月17日に23.9 mm、11月20日に14.5 mmの降水量を記録しており、11月21日までに51 mmの降水量があった。このために、21日はライシメータの排水が行われ、その影響により



第2図 2000年11月21日から12月6日における、(A) 日平均正味放射量 (R_n) と顕熱フラックス (H) と、(B) ライシメータによる日蒸発散量 (IET) の変動。日蒸発散量は11月21日の値で規格化してある

日蒸発散量は38.41 mmという値を記録した。排水が正確に行われている場合は、翌22日からは気象条件に支配された蒸発散量の変動を示すはずである。しかしながら、第2図に示すように日蒸発散量は R_n や H の変動とは関係なく、日数に対して指数関数的に減衰していく過程が見られる。そしてこの傾向は降雨後11日まで続いている。

古藤田ほか(1978)によると、当該ライシメータの排水は重力排水方式が採用されており、一定の水位に地下水が上昇するとレベルスイッチが検知し、ピンチバルブによって一定レベルに下がるまで自動的に排水が行われるようになっている。このことから、秤が新しくなった後に、ライシメータは排水機構に何らかのトラブルを抱え、そのためにタンクモデルの流出量のような蒸発散量の変動を記録しているものと推測される。残念ながら現時点では原因の究明が出来ておらず、早急にこの問題を調査する必要がある。

以上のことから、1994年6月以降のライシメータのデータを使用する際には、降雨日直後のデー

タは参照する程度にとどめることが妥当であると考えられる。降雨後4日目には日蒸発散量が降雨日の値に対して0.1程度に減少していることから、使用すべきでない期間は降雨後3日間程度と思われる。

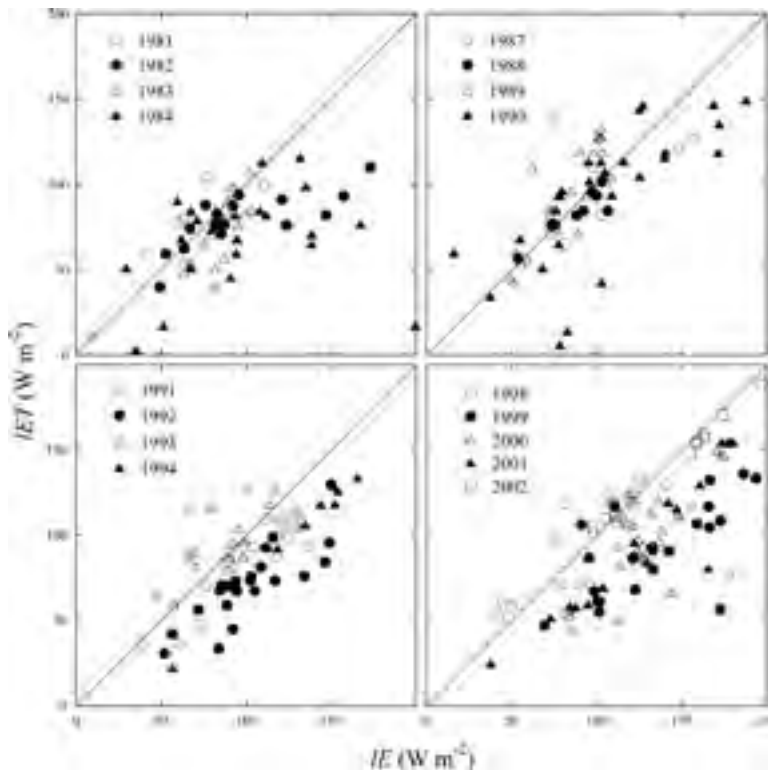
3. 感度の経年変化

檜山ほか(1993)によれば、1990年以降ライシメータの時間蒸発散量にばらつきが見られるが、このばらつきはランダムな誤差であるために日積算量として蒸発散量を評価する上では問題がない。そこで、7月から9月の夏期のデータを用いて、解析対象期間における日平均 IET と IE の関係を調べた(第3図)。データ選別においては、Ⅲの2.の結果に基づき4日間以上降雨が記録されていない日を選んだ。また、夏期にライシメー

タが不調であった年は対象から外してある。

1982年と1984年の潜熱フラックスが大きい時期を除いて、観測開始から1990年まではばらつきはあるものの IET と IE は1対1の関係式のまわりに分布している。このことから、1990年まではライシメータの経年変化による IET と IE の誤差は無いものと考えられる。1982年と1984年に見られるばらつきであるが、田ほか(1995)によると両年とも8月に超音波風速計の異常が報告されているため、ライシメータの感度には異常がないものと思われる。

田ほか(1994)によると、1990年以降見られるようになったライシメータのノイズは、アイソレータの導入とデータの平滑化により軽減され、 IET と IE の関係が改善された事が報告されている。また、 IET に比べて IE が大きくなる原



第3図 ライシメータによる日平均潜熱フラックス (IET) と熱収支法から求めた日平均潜熱フラックス (IE) の比較

因として水平移流が寄与しているのではないかと考察している。しかしながら、第3図に示すように1991年以降は統計的に熱収支法による潜熱フラックスの値が大きくなっている。また、新しい秤を使用している1998年以降でも同様の傾向が表れている事を考慮すると、上記の事項だけでは説明出来ない。1991年から2002年において IE の値が統計的に大きくなる原因としては、1) 超音波風速温度計の感度劣化に伴い顕熱フラックスが過小評価され、結果として潜熱フラックスが過大評価されている、2) ライシメータの内部計算処理、もしくは測定機器に問題が生じている、の2つが考えられる。1) に関して齊藤・浅沼(2004)は、フラックスメータの倍率設定値の影響により、1994年7月6日以前の顕熱フラックスは数パーセント過小評価されている可能性を示している。しかし、第3図では1991年以降 IE が大きくなっていることから、倍率設定値の影響とは考えられない。また超音波風速温度計の比較観測などを行っていないために、現時点で超音波風速温度計の感度変化については不明である。しかしながら、 IET に対して IE は $\sim 40 \text{ Wm}^{-2}$ のオフセットが乗っているものの感度自体は1対1の関係式と平行にあるために、ライシメータの感度は一定に保たれていると推測される。

4. ノイズの発生頻度

第2表に各年のライシメータのノイズの発生頻度を示す。ただし、欠測もしくはライシメータの不調が長期間記録されている年は対象から外した。データは降雨時を除く1時間値を使用した。ノイズを検出するにあたり、1時間の蒸発散量が1mmを越える、もしくは -0.5 mm を下回るデータをノイズとした。本報告は解析対象期間が長期に及ぶために明瞭に異常値と言えるものをノイズと定義した。

ノイズの発生頻度は各年によってばらつきはあるが、その大部分が1～2% 台に収まってお

第2表 ライシメータのノイズ発生頻度 (%)

年	サンプル数	ノイズ数	発生頻度 (%)
1981	3386	72	2.1
1982	7948	270	3.4
1983	6881	227	3.3
1984	7098	148	2.1
1987	7953	138	1.7
1988	7237	152	2.1
1989	7721	130	1.7
1990	7579	103	1.4
1991	8118	214	2.6
1992	7884	75	1.0
1993	7742	292	3.8
1994	4586	49	1.1
1999	8171	127	1.6
2000	8070	98	1.2
2001	7496	97	1.3
2002	7930	142	1.8

り、最大でも1993年の3.8%である。1990年以前と以降の発生頻度を比較した場合に、明瞭な違いは見られなかった。このことから、解析対象期間を通してノイズの発生頻度は一定であり、ライシメータの経年劣化の影響は見られないことがわかった。

IV おわりに

本報告では、TERC ホームページ上で公開されているデータを用いて、ライシメータと熱収支法から蒸発散量を算出し、長期観測データの比較を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

1. ライシメータの秤を更新した1994年以降、排水機構に何らかの問題が生じた可能性が高い。降雨後数日間はその影響により蒸発散量が過大評価されている。
2. 1990年以降、熱収支法による潜熱フラックスに比べてライシメータによる潜熱フラックスが全体的に小さくなっていることが多いが、年によってその傾向は異なる。また、感度は両手法とも同程度であり、経年的に

ほぼ一定である。

3. ノイズの発生頻度は全期間を通して大きな違いがない。

およそ四半世紀に及ぶ貴重な観測データをもとに、実蒸発散量の長期トレンドを評価するためには、以上の問題を踏まえ適切な補正・欠測処理を行う必要がある。

文献

- 古藤田一雄・佐倉保夫・林陽生・甲斐憲次 (1978)：水理実験センターにおける熱収支・水収支観測システムとデータ集録・処理について。筑波大学水理実験センター報告，**2**，65-89.
- 齊藤誠・浅沼順 (2004)：陸域環境研究センター熱収支・水収支観測圃場におけるフラックスデータのシステム間比較と信頼性。筑波大学陸域環境研究センター報告，**5**，87-97.
- 田少奮・檜山哲哉・杉田倫明 (1994)：ウエイ
ングライシメーターによる蒸発散量のバラツキの原因とその改善について。筑波大学水理実験センター報告，**19**，57-62.
- 田少奮・生川智彦・金子英子・杉田倫明 (1995)：筑波大学水理実験センター熱収支・水収支観測日記。筑波大学水理実験センター報告，**20** 別冊，1-99.
- 新村典子・杉田倫明 (1999)：ウエイングライシメーターの重量測定システムの更新とその蒸発散量測定値のばらつきの改善について。筑波大学水理実験センター報告，**24**，107-115.
- 檜山哲哉・杉田倫明・三上正男 (1993)：ウエイングライシメーターと熱収支法による潜熱フラックスの比較。筑波大学水理実験センター報告，**18**，41-53.
- Fritschen, L. J. and Gay, L. W. (1979): *Environmental Instrumentation*. Springer-Verlag, 216p.
- (2005年5月31日受付，2005年8月25日受理)

熱収支・水収支観測資料 - 2004年 -

Observational Data of Heat Balance and Water Balance
- 2004 -

渡来 靖*・山中 勤*

Yasushi WATARAI* and Tsutomu YAMANAKA*

I はじめに

この「熱収支・水収支観測資料」は、筑波大学陸域環境研究センターの直径160 mを有する実験圃場でルーチン観測を行っている熱収支・水収支関係要素の、2004年における観測値を研究資料として整理したものである。本資料には、観測値の一次的な統計処理による日平均値および日積算値が掲載されている。ただし、風向に関しては月別風向別頻度を掲載した。

測定に用いられる機器は、年一回の保守・点検を行い、測器の精度を保つようにしている(2004年度は、2005年3月22日に行った)。また、圃場の整備のため、2004年12月16~17日に草刈を行った。10月16~17日は停電のため、日中は予備電源へつなぎかえて観測を行った。

II 観測要素および観測測器の説明

1. 風向: Wind Direction

2003年12月17日以降、観測用鉄塔の高度29.5 m南東側に設置されている超音波風速温度計によって測定されている(浅沼ほか, 2004)。

値は、正時の10分間平均値である。

2003年末の風向観測測器の変更以降のデータに関して誤差があることが判明し、2004年7月7日に+169度の補正値を加える修正を行った。本資料のデータは7月7日以前も補正済みである。

2. 風速: Wind Speed

観測用鉄塔に取り付けた超音波風速温度計によって得られた水平風速の日平均値である。測定高度は地表面から1.6 mおよび29.5 m、単位はm/sである。

1997年8月1日以降、高度29.5 mでは、超音波風速温度計が観測用鉄塔の南東及び北西側に設置してある。このため、本資料においても昨年と同様に、29.5mの値として、日平均風向が33-213度のときは南東側の値を、0-33度及び213-360度のときは北西側の値を採用した。また、風向が欠測の場合は、南東側と北西側の平均値とした。

また、1997年から主風向の成分として北成分が強くなる秋に高度1.6mの南東側のものを北西側に、逆に南成分が強くなる春に北西側のものを南東側に付けかえる作業を行っている。さらに、

* 筑波大学陸域環境研究センター

1998年より夏季においては、高度1.6mの超音波風速温度計を高度2.15mに上げている。これは、圃場の草刈りを年1回にしたため、夏季になると草丈が1m以上に伸び、観測高度として1.6mでは植生上部からの十分な観測高度が得られないからである。2004年は、これらの作業を次の日に行った。4月9日に北西のもの（高度1.6m）を南東に移動させ、6月30日に2.15mの高さに上げた。また、12月22日に南東のものを北西に移動させ、同時に2.15mから1.6mの高さに下げた。

なお、超音波風速温度計で測定された水平風成分に関して、観測値が実際の2倍となっていた誤差が報告され、2004年7月7日に修正された。本資料では、7月7日以前についても修正済みである。

3. 運動量フラックス：Momentum Flux

超音波風速温度計によって測定された水平風速の変動成分 u' 、垂直風速の変動成分 w' から得られる2つの変動量の積の平均 $\overline{u'w'}$ の日平均値である。上向きを正としており、単位は $\times 0.1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ である。測定高度は地表面から1.6mおよび29.5mである。1時間平均値に1つでも欠測あるいは異常が見られる場合にはその日の日平均値を欠測とした。詳しくは齊藤・浅沼（2004）を参照されたい。

高度1.6mおよび29.5mでの観測の詳細は、2に記述したものと同様である。

4. 顕熱フラックス：Sensible Heat Flux

超音波風速温度計によって測定された鉛直風速および気温の変動量の積の平均 $\overline{w'T'}$ の日平均値である。上向きを正としており単位は $\times 0.1^\circ\text{C} \cdot \text{m}/\text{s}$ である。測定高度および欠測処理は運動量フラックスと同様である。詳しくは齊藤・浅沼（2004）を参照されたい。

高度1.6mおよび29.5mでの観測の詳細は、2

に記述したものと同様である。

5. 全天短波放射量：Total Short-wave Radiation

熱電対式全天日射計を地表面から高度1.5mに設置して測定した値の日平均値である。単位は W/m^2 である。

6. 正味放射量：Net Radiation

通風型熱電対式放射収支計を地表面から高度1.5mに設置して測定した値の日平均値である。単位は W/m^2 である。

7. 地中熱流量：Soil Heat Flux

熱電対式地中熱流板によって得られた日平均値で、測定深度は地表面から2cmである。2004年は年間を通して異常値が多かったため、本資料での図表の掲載は省略した。

8. 日照時間：Sunshine Duration

研究棟の屋上に設置した回転式日照計によって得られた日積算値である。単位は分である。

9. 気温：Air Temperature

観測用鉄塔の北東側に取り付けた通風式白金抵抗温度計によって得られた日平均値である。測定高度は地表面から1.6m、12.3mおよび29.5m、単位は $^\circ\text{C}$ である。

10. 地温：Soil Temperature

直径10mm、長さ15cmの防水型白金抵抗温度計によって得られた日平均値である。測定深度は地表面から2cm (ST1)、10cm (ST2)、50cm (ST3) および100cm (ST4) であり、単位は $^\circ\text{C}$ である。センサーは深度1mの穴の側壁に地表面と平行に挿入し、埋土した。

50cm深度の測定値は年間を通して低く、約 6°C の誤差が含まれているものと推測される。この値については、参考値として利用していただきたい。

11. 地下水位：Ground Water Level

地表面から地下水面までの深さの日平均値で単位は m である。観測には水圧式水位計が使用された。測定深度は、2.2 m 深 (GW1, スクリーン深度は 0.7~2 m) と 10.0 m 深 (GW2, 同 8~9 m) の 2 種類である。2003 年までは、22.0 m 深の観測井においても観測を行っていたが、井戸の破損で 2 m 付近の地下水が混入していることが判明した (井岡ほか, 2004) ため、2004 年 2 月 18 日に運用を停止した。本資料には、22.0 m 観測井のデータは含まれない。

12. 露点温度：Dew Point Temperature

観測用鉄塔の南西側に取り付けられた塩化リチウム露点温度計によって得られた日平均値である。単位は℃、測定高度は気温と同様である。

13. 降水量：Precipitation

1 転倒 0.5 mm, 直径 20 cm の転倒ます型隔測自記雨量計を使用して測定された。単位は mm (水深換算) で、日積算値である。

14. 蒸発散量：Evapotranspiration

直径 2 m, 深さ 2 m の円筒型容器に不攪乱の土 (関東ローム) を詰めたウェイングライシメータにより測定された。総重量は約 9 トンであり、蒸発あるいは降水による重量変化を ± 250 kg (水深換算約 80 mm) の範囲で測定できる。秤量感度は 100 g (水深換算 0.032 mm) である。単位は mm (水深換算) で、日積算値である。降水日には雨量計で測定された日降水量をライシメータの生の測定値に加えた値を真の日蒸発散量とした。ただし、その結果が -0.5 より小さい時は欠測、-0.5 ~ 0 の場合は雨量計の測定誤差を考慮して 0.0 とした。さらに、何らかの理由でウェイングライシメータの雨量測定値が雨量計のそれより小さい場合があると日蒸発散量が過大評価されてしまうので、そのような時には蒸発散量を欠測

としてある。観測期間中欠測日が少なからず存在するが、これは降水後の強制排水前後における乱れや、点検・調整などが主な原因である。田・杉田 (1996) の記述のとおり、ライシメータの秤の感度の問題でデータの信頼性には若干の問題が残されていた。データの平均化処理を行うコントローラ (MUC-175SZ: ミュー精器株式会社) をライシメータの秤の感度の問題を解決するために 1998 年 8 月 14 日よりコントローラを使用し計測している。現在はコントローラを導入することにより、風の影響は取り除かれるようになった。

しかしながら平均化処理をほどこしたことにより、測器の劣化によるものと考えられる影響が測定値に含まれていることが発覚した。ただし、日ベースのデータとしては信頼できると考えられる。詳細については新村・杉田 (1999) を参照されたい。

最近、齊藤・山中 (2005) はセンター圃場のライシメータで観測された蒸発散量の長期解析を行った。その結果、降水直後のデータに水漏れの影響と思われる傾向が現われていること等を指摘している。詳細は齊藤・山中 (2005) を参照されたい。

15. 気圧：Atmospheric Pressure

2003 年 12 月 17 日以降、観測用鉄塔直下の計測ボックス内に新設された気圧計 (PTB210: ヴァイサラ株式会社) においても気圧が測定されている (野原・浅沼, 2004)。本資料では、鉄塔下で測定された気圧を採用した。単位は hPa である。

III おわりに

本資料は 1980 年に出版した「熱収支・水収支観測資料 (1)」(1977 年 8 月 - 1979 年 3 月)、1988 年に出版した「熱収支・水収支観測資料 (2) - 熱収支編 -」(1981 年 7 月 - 1987 年 12 月)、1989 年に出版した「熱収支・水収支観測資料 (3)

「水収支編」(1981年8月-1987年12月), に続いて1年ごとにまとめられ(野原・浅沼, 2004など), 水理実験センター報告及び陸域環境研究センター報告に掲載されている「熱収支・水収支観測資料」の2004年分のものである。

これらの観測値のさらに高度な利用を望まれる研究者に対しては, 1時間平均値あるいは積算値が, 陸域環境研究センターのホームページ(<http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/>)の熱収支・水収支観測圃場日報データベース(<http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/hojyo/database.html>)に保管されている。また2003年5月1日以降は, 10秒平均値及び30分平均値データも保管してある。データの集録・処理方法については浅沼ほか(2004)を参照されたい。

さらに, 2003年4月以前の気象日報(原簿)および自記打点記録紙などの保管されている原資料の利用も可能である(野原・浅沼, 2003)。2003年以前のデータの集録・処理方法については鳥谷ほか(1989)を, 1987年以前のデータの集録・処理方法については古藤田ほか(1983)を参照されたい。

謝辞

筑波大学生命環境科学研究科の寺崎康児氏には, データのクオリティチェックと作図・作表に協力頂いた。本資料の全ての図表は, The Generic Mapping Tools (Wessel and Smith, 1991) を用いて作成されたものである。

文献

浅沼 順・野原大輔・原 政之・寄崎哲弘(2004): 第3世代気象・水文観測データ収集・公開システムについて。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 157-174.

井岡聖一郎・野原大輔・田中 正・浅沼 順・山中 勤(2004): 陸域環境研究センターにおける地下水位長期観測データについて。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 99-101.

古藤田一雄・甲斐憲次・中川慎治(1983): 気象日報作成装置について。筑波大学水理実験センター報告, **7**, 75-85.

齊藤 誠・浅沼 順(2004): 陸域環境研究センター熱収支・水収支観測圃場におけるフラックスデータのシステム間比較と信頼性。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 87-97.

齊藤 誠・山中 勤(2005): ウェイングライシメータによる蒸発散量長期観測データの解析とクオリティコントロール。筑波大学陸域環境研究センター報告, **6**, 53-62.

田 少奮・杉田倫明(1996): 熱収支・水収支観測資料-1994年・1995年-。筑波大学水理実験センター報告, **21**, 61-115.

鳥谷 均・川村隆一・嶋田 純・谷口真人・西本貴久(1989): 気象日報作成装置新システムについて。筑波大学水理実験センター報告, **13**, 147-158.

新村典子・杉田倫明(1999): ウェイングライシメータによる蒸発散量のばらつきの改善について。筑波大学水理実験センター報告, **24**, 107-115.

野原大輔・浅沼 順(2003): 熱収支・水収支観測資料-2002年-。筑波大学陸域環境研究センター報告, **4**, 157-183.

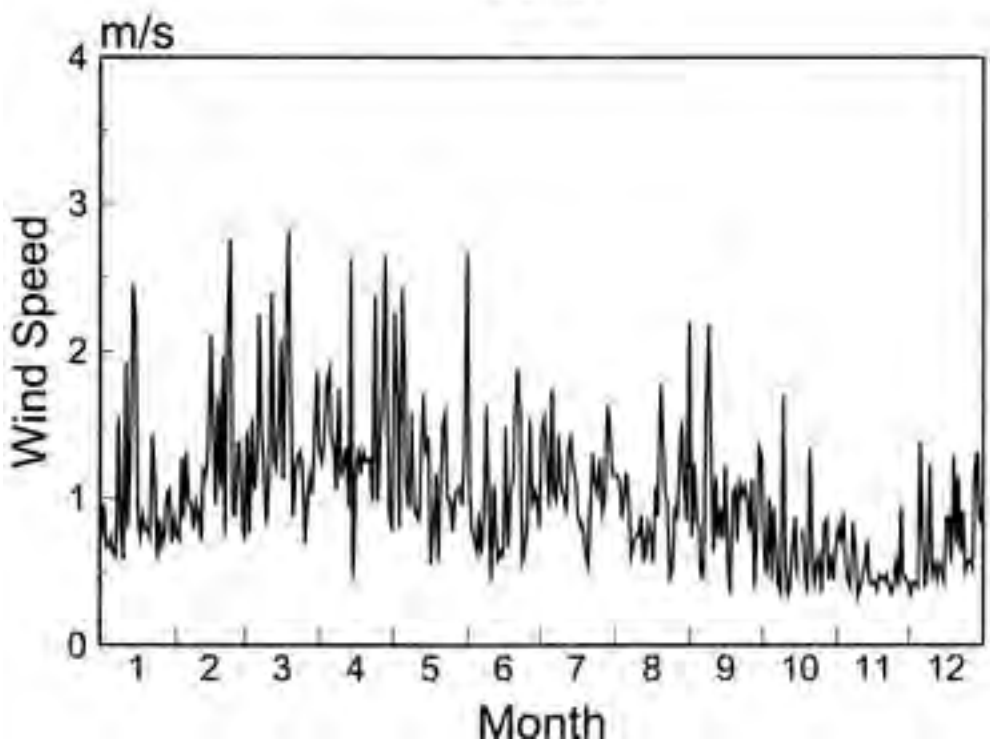
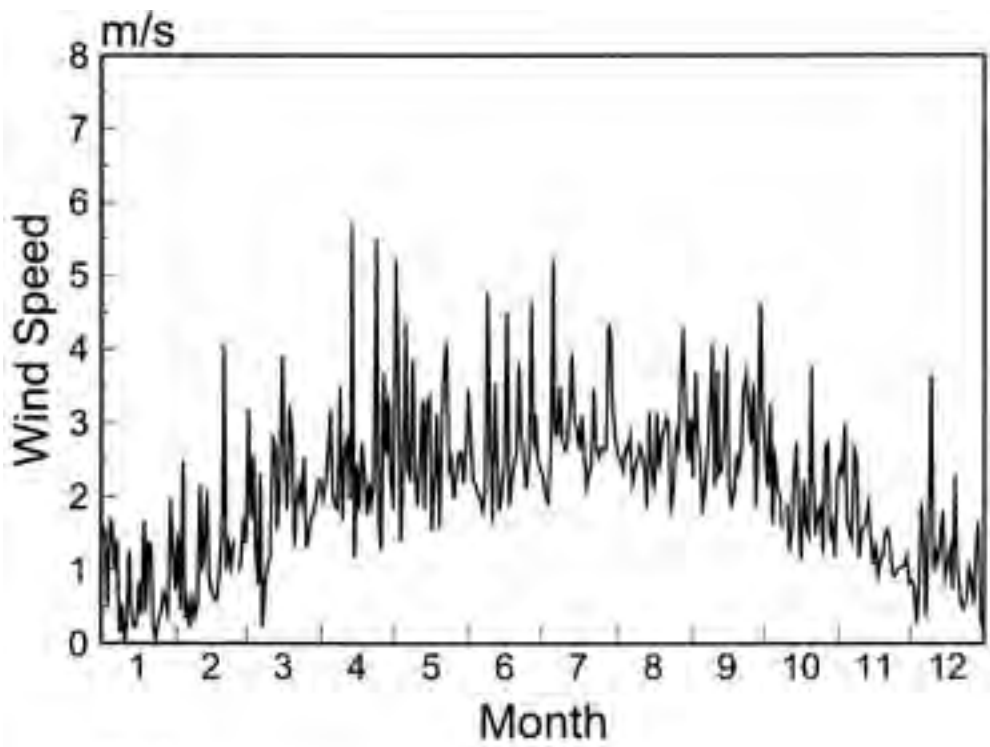
野原大輔・浅沼 順(2004): 熱収支・水収支観測資料-2003年-。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 129-155.

Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1991): Free software helps map and display data. *EOS Trans. Amer. Geophys. U.*, **72**, 445-446.

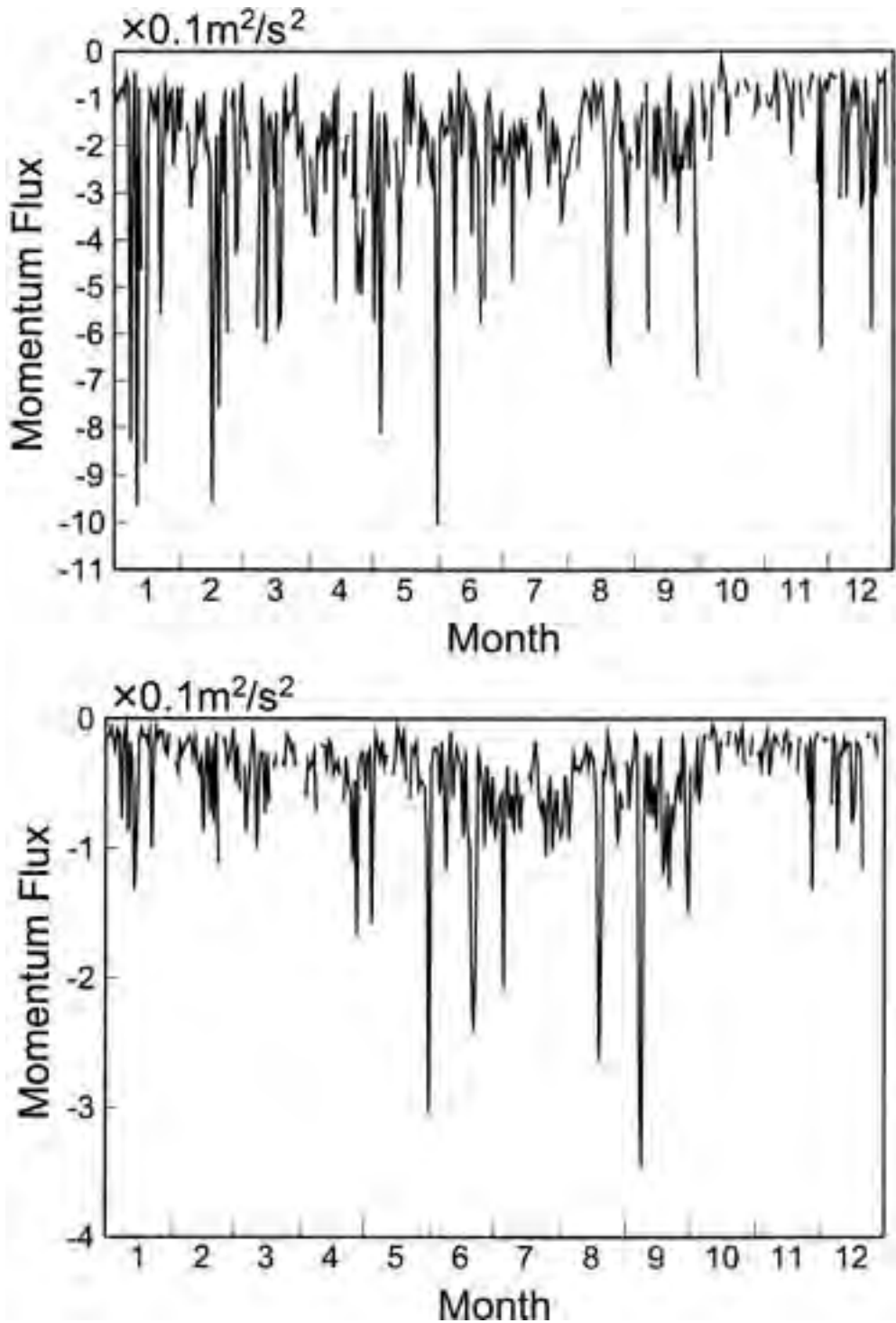
気象・水文表

表の見方

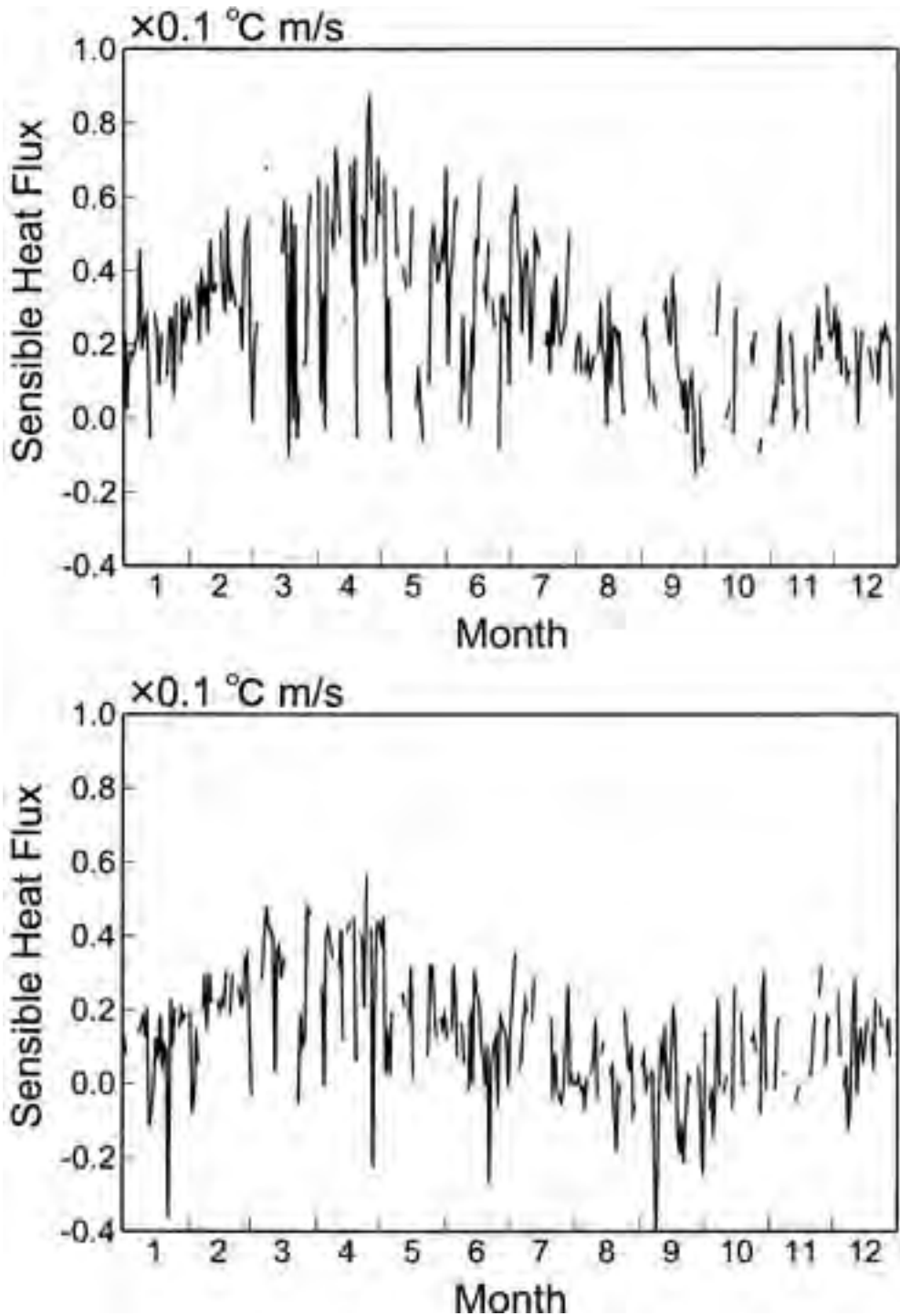
- (1) ITEM は観測要素，INSTRUMENT は観測測器を示す。
- (2) UNIT に関して，MONTHLY FREQUENCY は月毎の頻度を示す。
- (3) 表の横軸は月，縦軸は日である。
- (4) 表中の *** は欠測を，…は対応する日がないことを示す。
- (5) NO DATA は欠測頻度を示す。
- (6) MEAN は月平均値，TOTAL は月積算値を示す。



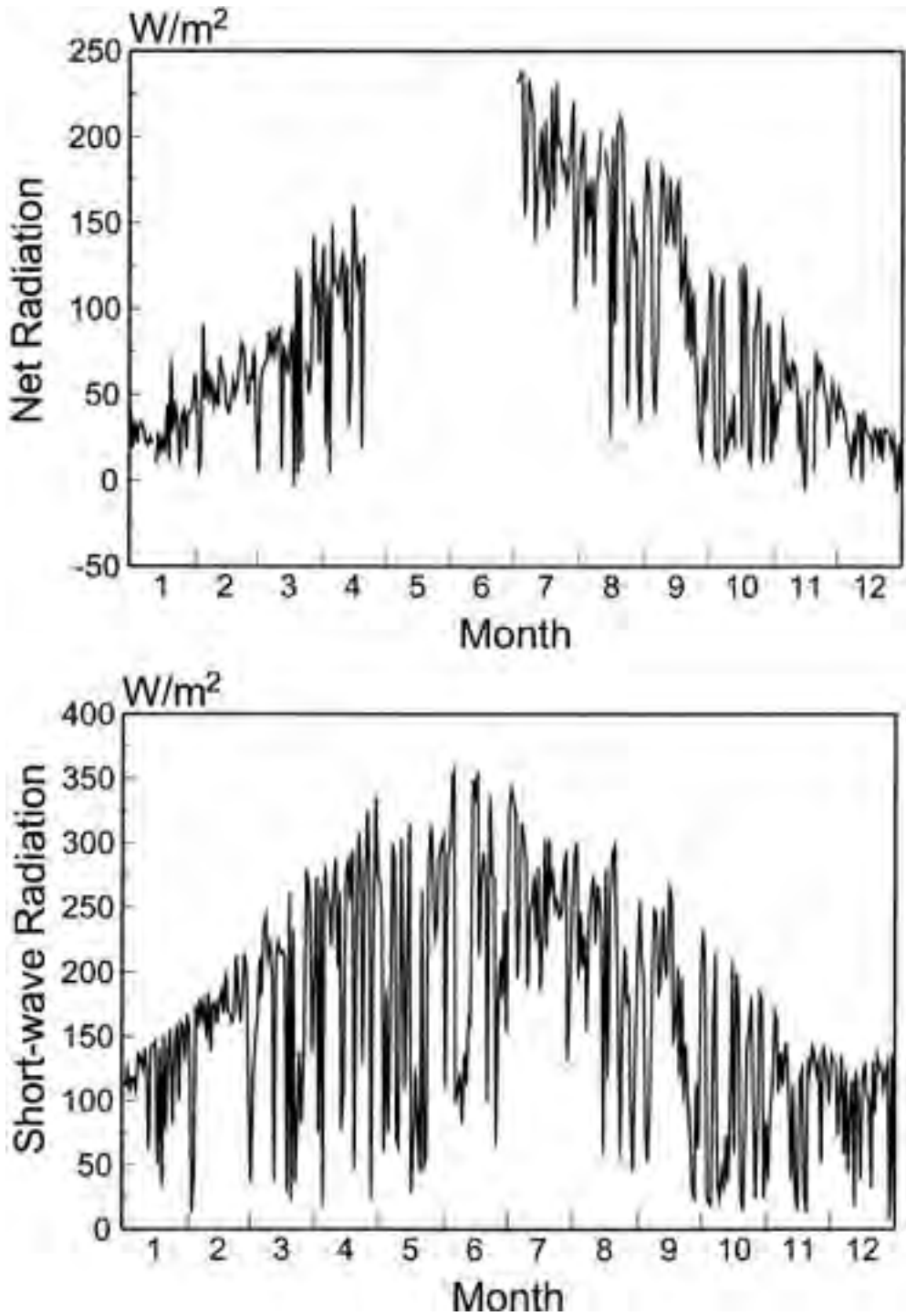
第1図 測定高度 29.5 m (上図), および 1.6 m (下図) における風速の日平均値の季節変化



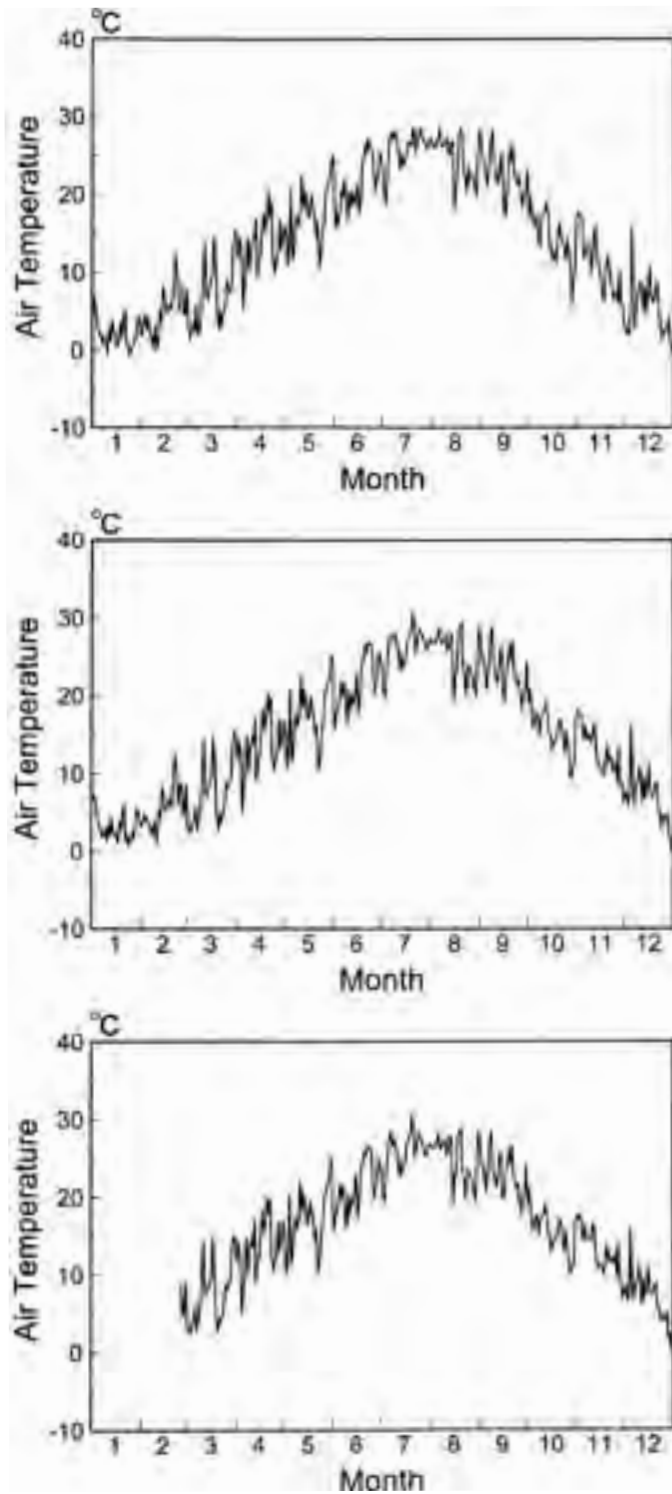
第2図 測定高度 29.5 m (上図), および 1.6 m (下図) における運動量フラックスの日平均値の季節変化



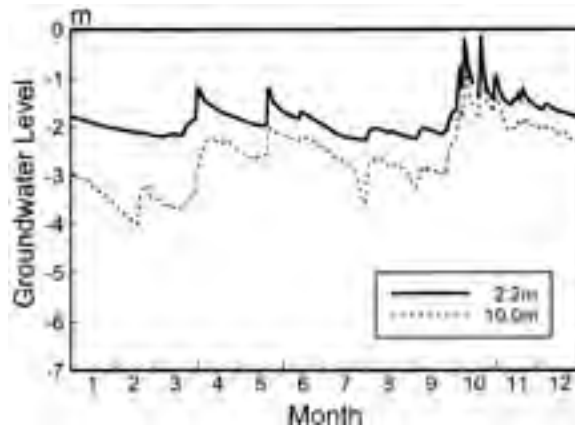
第3図 測定高度 29.5 m (上図), および 1.6 m (下図) における顕熱フラックスの日平均値の季節変化



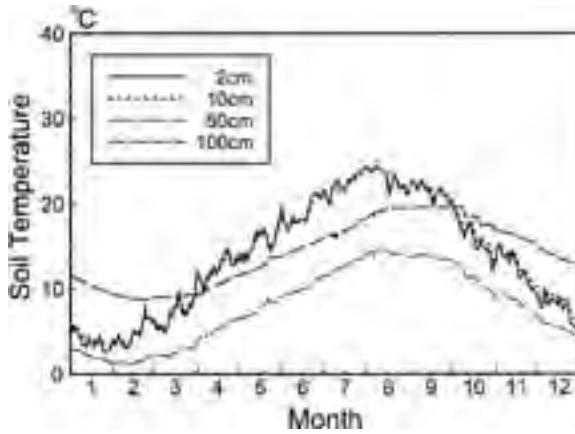
第4図 正味放射量（上図），全天短波放射量（下図）の日平均値の季節変化



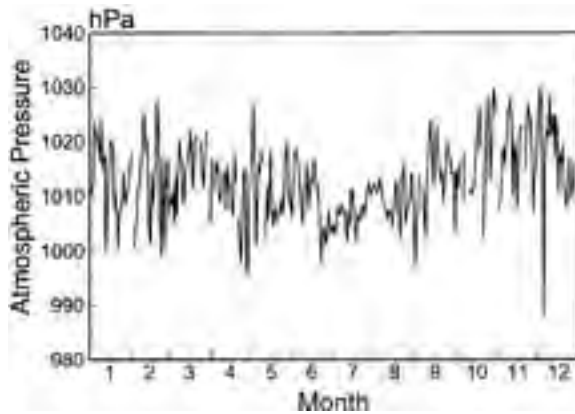
第5図 測定高度 29.5 m (上図), 12.3 m (中図), および 1.6 m (下図) における気温の日平均値の季節変化



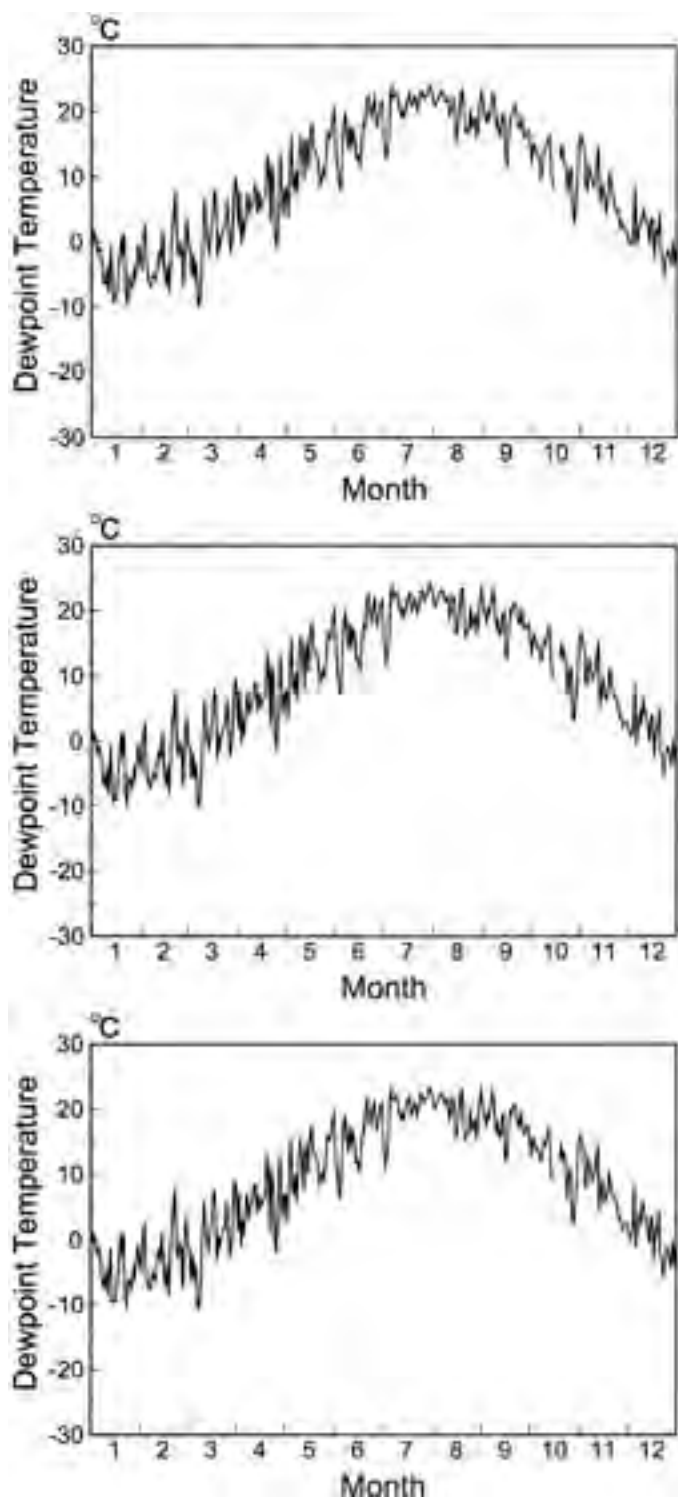
第6図 2 深度 (2.2 m, 10 m) の観測井における地下水位の日平均値の季節変化



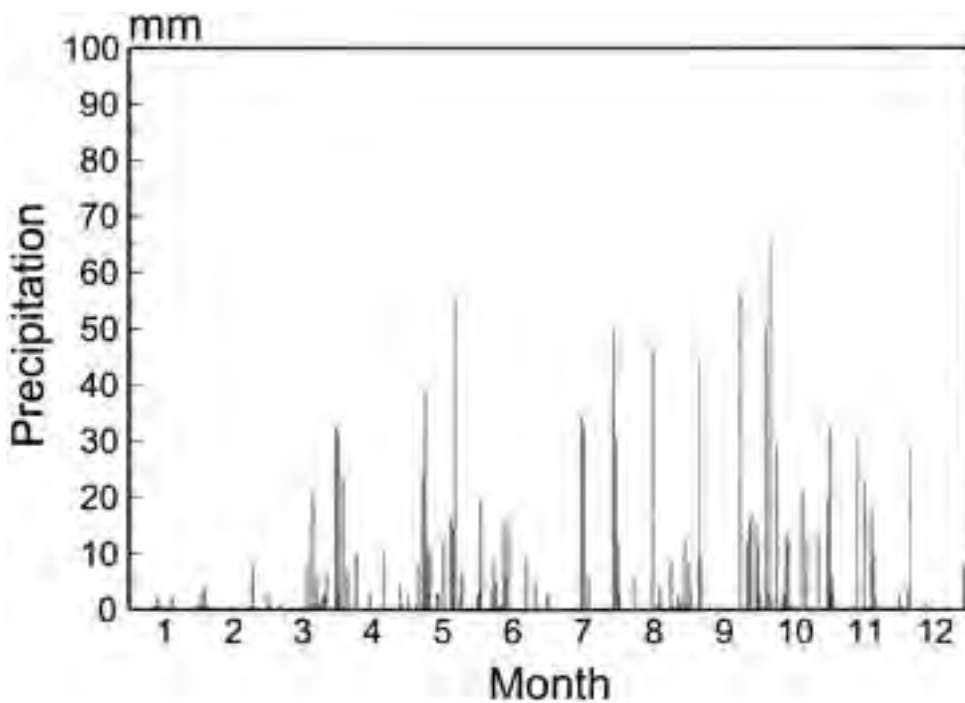
第7図 4 深度 (2 cm, 10 cm, 50 cm, 100 cm) における地温の日平均値の季節変化



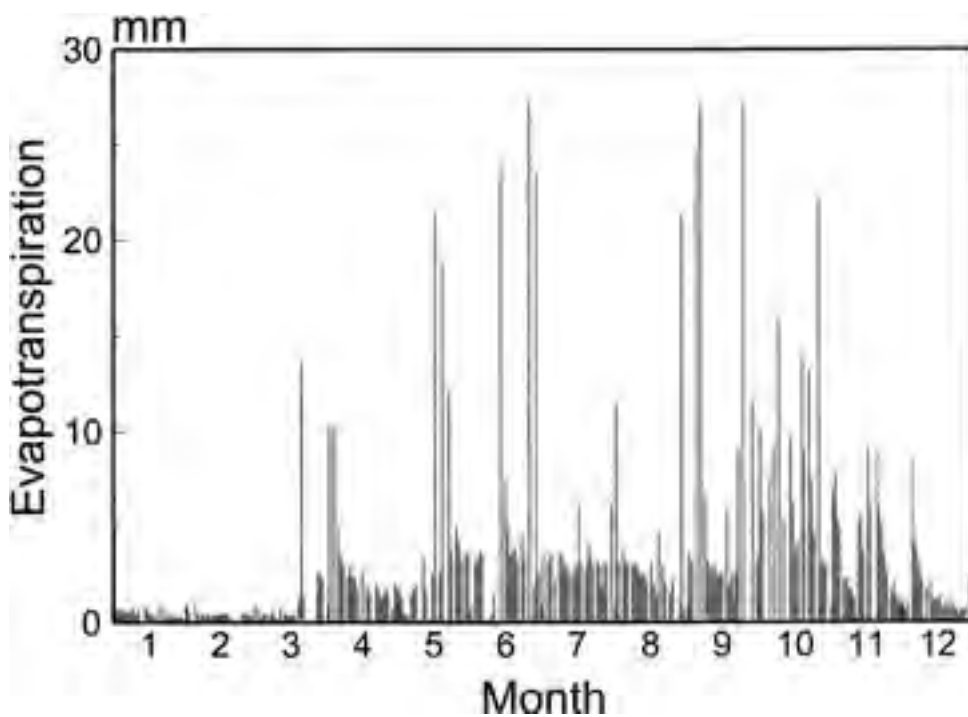
第8図 気圧の日平均値の季節変化



第9図 測定高度 29.5 m (上図), 12.3 m (中図), および 1.6 m (下図) における露点温度の日平均値の季節変化



第 10 図 日降水量の季節変化



第 11 図 日蒸発散量の季節変化

ITEM WIND DIRECTION (20.5m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DAT-100)
 UNIT MONTHLY FREQUENCY
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	225	68	70	40	23	17	27	22	40	114	117	137
NNE	45	37	29	21	14	9	21	16	15	55	47	52
NE	30	14	02	10	17	8	29	10	15	38	23	25
ENE	48	7	17	5	13	5	35	8	17	46	20	14
E	20	9	55	20	47	10	27	63	06	63	33	39
ESE	47	41	115	97	148	66	96	107	164	108	90	43
SE	61	71	60	134	176	161	126	105	101	62	69	48
SSE	29	43	29	46	77	77	77	37	41	37	36	24
S	11	12	22	22	24	44	21	35	17	8	17	11
SSW	7	12	29	23	29	32	38	47	17	7	12	8
SW	7	18	25	45	34	65	64	77	57	11	14	5
WSW	17	44	80	62	87	109	41	68	90	6	15	8
W	24	37	25	29	13	18	32	27	22	6	14	26
WWW	44	35	14	24	8	17	37	16	10	15	23	36
NW	102	87	84	38	14	13	62	26	12	26	54	92
NNW	152	136	75	69	20	21	29	33	30	73	135	176
NO DATA	10	5	4	3	1	1	1	1	1	7	4	7

ITEM WIND SPEED (1.6m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DAT-100)
 UNIT (m/s)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.7	0.8	1.1	1.2	1.3	1.3	1.5	1.7	0.7	0.7	0.8	0.7
2	1.0	0.7	0.6	1.4	1.8	0.8	1.6	1.1	1.2	0.5	0.7	0.4
3	0.7	1.3	1.5	1.6	0.8	0.7	1.2	0.8	0.8	1.0	0.9	0.4
4	0.7	0.9	1.1	1.9	2.4	0.7	0.9	1.0	0.8	0.5	0.6	0.4
5	0.7	1.3	1.3	1.4	1.9	0.8	1.8	1.2	0.5	0.8	0.5	1.4
6	0.6	1.0	2.2	1.4	1.1	0.8	1.1	1.0	0.5	0.7	0.4	0.8
7	0.6	1.0	1.5	1.1	0.9	0.9	1.0	0.6	1.7	0.4	0.8	0.4
8	1.8	0.8	1.2	1.8	1.8	4.8	1.4	0.7	2.2	0.4	0.7	0.6
9	0.8	1.0	0.1	1.1	1.0	1.0	1.1	0.8	1.3	1.7	0.3	1.2
10	0.6	0.9	1.1	1.2	0.9	0.5	1.0	0.8	0.6	0.8	0.4	0.6
11	1.9	0.7	2.4	1.3	0.9	1.1	0.9	0.9	1.1	0.3	0.5	0.6
12	0.8	1.2	1.3	0.0	1.4	0.8	1.3	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5
13	1.3	1.1	1.2	2.6	1.7	0.8	1.4	0.6	0.9	0.7	0.7	0.5
14	1.5	1.3	1.4	0.5	1.3	0.5	1.2	0.8	0.7	0.9	0.4	0.5
15	2.2	2.1	2.1	1.2	1.4	0.8	1.1	0.8	1.2	0.5	0.4	0.4
16	0.9	1.4	1.1	1.3	0.6	1.5	0.9	0.6	0.6	***	0.4	0.9
17	0.7	1.0	2.2	1.2	0.9	0.7	0.8	1.1	0.3	0.8	0.4	0.9
18	0.9	1.7	2.8	1.3	1.2	1.0	0.8	0.9	1.0	0.5	0.5	0.6
19	0.8	1.1	1.6	1.2	0.6	1.1	0.8	1.8	1.1	0.4	0.5	1.8
20	0.8	2.0	0.9	1.3	1.1	1.6	0.6	1.4	0.7	1.1	0.4	0.7
21	0.7	0.8	1.1	1.3	1.5	1.0	0.9	1.0	1.1	0.8	0.6	1.1
22	1.4	2.2	1.3	1.0	1.6	1.6	1.3	1.0	1.0	0.4	0.4	0.6
23	1.1	2.8	1.3	2.4	1.0	0.6	1.1	0.5	1.1	0.4	0.3	0.6
24	0.6	0.9	1.2	1.0	1.0	0.7	1.0	0.5	1.0	0.6	0.4	0.5
25	0.9	0.9	0.7	1.4	0.5	0.9	1.3	0.9	0.8	0.3	0.6	0.6
26	0.7	1.4	1.0	1.8	1.0	1.5	0.9	0.9	1.1	0.8	0.4	0.6
27	0.9	1.4	1.1	2.0	1.1	0.9	1.0	1.3	0.4	0.9	0.9	0.5
28	1.0	0.9	1.0	1.6	1.1	1.1	1.5	1.5	0.7	0.5	0.5	1.2
29	1.1	0.7	1.4	0.9	1.0	1.0	1.5	1.1	1.4	0.6	0.5	1.3
30	0.7	...	1.9	0.8	1.4	0.8	1.2	0.8	1.3	0.5	0.4	0.6
31	0.6	...	1.1	...	1.7	...	1.2	1.2	...	0.7	...	0.9
MEAN	1.0	1.3	1.4	1.4	1.3	1.0	1.1	1.0	1.0	0.7	0.5	0.7

ITEM WIND SPEED (26 km HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DAT-300)
 UNIT (m/s)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.6	1.5	1.7	2.0	2.3	2.8	2.3	2.6	2.3	2.6	2.4	2.9
2	1.5	0.5	1.7	2.2	3.7	2.2	2.0	2.5	3.7	2.1	2.3	2.6
3	0.5	2.5	2.3	2.7	1.4	2.2	1.0	2.4	2.9	3.3	3.0	0.3
4	1.7	0.3	1.3	3.2	2.4	2.0	2.5	2.7	2.5	1.6	1.7	0.7
5	1.6	0.6	0.8	2.0	4.4	2.0	5.3	2.6	1.3	2.8	1.8	1.9
6	1.0	0.2	2.3	1.9	2.4	1.8	2.9	2.8	2.1	2.1	1.4	1.4
7	1.4	0.7	0.2	1.8	2.2	2.0	2.8	2.2	2.6	2.0	2.6	0.4
8	0.1	0.4	0.8	3.5	3.0	4.8	3.5	2.4	3.2	1.4	2.5	3.8
9	0.5	0.5	1.4	1.7	2.3	2.7	2.8	2.5	4.1	***	1.2	3.0
10	-0.0	2.1	1.2	2.6	1.9	1.6	2.6	2.7	2.1	1.9	1.6	1.0
11	0.3	1.0	2.8	2.8	2.6	3.3	2.7	2.6	3.7	3.3	1.6	3.2
12	1.3	1.2	2.7	3.0	3.3	2.4	3.3	2.3	2.3	1.6	1.7	1.1
13	0.4	2.1	1.5	5.7	1.8	1.8	4.0	1.8	2.4	2.2	1.0	1.4
14	0.2	0.9	2.1	1.2	3.3	2.1	3.0	3.1	2.8	2.7	1.4	1.2
15	0.2	0.7	1.9	2.4	3.4	2.5	2.9	2.4	4.0	1.7	1.1	0.6
16	0.8	0.6	2.4	1.8	1.8	4.5	2.8	2.1	2.1	1.1	1.4	1.1
17	0.4	0.6	1.8	2.7	2.2	1.9	3.1	3.1	1.9	2.2	2.0	3.2
18	1.7	0.9	3.2	2.3	3.1	2.2	2.5	2.4	2.1	1.6	1.1	0.7
19	0.4	1.5	2.8	1.8	1.6	2.5	2.1	2.8	2.8	1.5	1.2	2.1
20	1.4	4.1	1.3	2.2	2.9	1.6	2.3	2.9	2.4	3.8	1.3	1.0
21	1.3	1.0	1.9	1.9	3.7	3.8	2.4	3.1	2.6	2.2	1.6	2.8
22	0.2	1.3	2.2	2.2	4.1	2.9	3.5	3.0	3.3	1.5	1.3	0.1
23	0.1	1.1	1.9	5.5	2.4	2.5	2.7	1.8	3.7	1.8	0.0	0.8
24	0.3	1.4	2.5	1.2	2.5	2.1	2.5	2.2	3.2	1.6	0.9	0.6
25	0.4	***	1.3	1.3	2.0	2.5	2.7	2.9	2.7	1.2	1.0	1.0
26	0.7	1.0	1.5	3.7	2.3	4.7	2.6	2.7	3.5	2.7	1.0	0.6
27	0.6	1.1	1.8	2.6	2.6	3.7	2.6	3.7	1.9	2.7	1.1	0.6
28	0.3	1.7	1.8	3.4	2.6	3.1	4.3	4.3	2.4	1.4	1.1	1.3
29	2.0	1.4	1.9	2.2	2.2	2.3	4.2	3.3	4.0	1.6	1.3	1.8
30	1.2	---	2.2	1.8	2.6	2.4	3.1	2.5	3.1	1.2	0.4	0.3
31	0.7	---	2.2	---	3.5	---	2.8	3.1	---	2.7	---	0.7
MEAN	0.6	1.2	2.0	2.5	2.8	2.6	2.9	2.7	2.9	2.0	1.5	1.7

ITEM MOMENTUM FLUX (1 km HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DAT-300)
 UNIT 0.1 (m/s)²
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-1.167	***	-0.409	-0.397	-0.540	-0.254	-0.028	-0.893	-0.120	-0.375	-0.282	***
2	-0.132	-0.332	0.291	***	-0.279	-0.229	-0.796	-0.842	-0.688	***	-0.254	-0.142
3	-0.073	-0.408	-0.553	-0.601	-0.234	-0.217	-0.541	-0.428	-0.379	-0.575	-0.382	-0.171
4	-0.376	-0.157	***	-0.323	-1.578	-0.264	-0.583	-0.838	-0.288	-0.144	-0.217	-0.138
5	-0.235	-0.271	0.357	-0.370	-0.400	-0.543	-0.082	0.927	-0.117	-0.652	-0.165	***
6	-0.888	-0.214	-0.895	-0.389	-0.117	-0.368	-0.849	-0.863	-0.171	-0.866	-0.209	-0.884
7	-0.122	-0.187	-0.538	-0.295	-0.194	-0.397	-0.260	-0.270	-0.603	-0.152	-0.431	-0.118
8	-0.770	-0.128	-0.327	-0.715	-0.312	-1.168	-0.767	-0.388	-1.847	-0.111	-0.269	-0.210
9	-0.190	-0.144	0.089	***	-0.162	-0.304	-0.578	0.376	-0.731	***	-0.129	-1.070
10	-0.854	-0.291	-0.259	-0.189	-0.370	-0.392	-0.881	-0.467	-0.246	-0.140	-0.147	-0.254
11	-0.965	-0.150	1.001	-0.211	0.265	-0.601	-0.480	0.332	-0.242	-0.046	-0.209	-0.281
12	0.181	-0.296	-0.364	-0.211	-0.289	-0.338	0.623	0.202	-0.271	-0.092	***	0.152
13	-0.438	-0.400	0.252	0.412	***	-0.221	-0.654	-0.129	-0.249	-0.187	-0.272	-0.224
14	-1.324	-0.328	-0.264	-0.166	10.421	-0.287	-0.574	-0.373	-0.511	-0.469	-0.130	-0.182
15	-0.802	-0.864	0.730	-0.188	-0.327	-0.362	***	-0.245	-0.640	-0.161	-0.206	-0.180
16	-0.163	-0.378	0.273	-0.408	0.059	-0.904	***	0.289	-0.256	***	-0.285	0.801
17	-0.076	-0.139	-0.542	-0.375	-0.133	-0.237	-0.486	-0.426	-0.138	***	-0.169	-0.699
18	-0.134	-0.214	***	-0.320	-0.273	-0.844	-0.488	-0.787	-1.197	-0.214	***	-0.178
19	-0.129	-0.208	-0.380	-0.436	-0.071	-1.005	-0.404	-2.827	-1.044	-0.093	***	-0.204
20	-0.179	-0.292	-0.358	***	-0.476	-2.108	-0.104	1.650	-0.589	***	-0.413	-0.272
21	-0.692	-0.102	***	-0.629	***	-2.407	-0.346	-0.812	-1.292	***	-0.243	-1.186
22	-0.966	-1.114	***	-0.297	-0.657	-1.969	-0.085	-0.435	-0.660	-0.108	-0.259	***
23	0.232	***	-0.318	-0.484	-0.226	-0.227	-0.232	0.119	-0.271	-0.246	***	-0.151
24	-0.609	-0.191	-0.358	-0.591	-0.264	-0.389	-0.615	-0.209	-0.560	-0.171	-0.298	-0.101
25	-0.242	-0.159	0.117	-1.094	-0.188	-0.486	1.099	-0.444	-0.424	-0.072	-0.612	***
26	-0.668	-0.260	0.130	-0.471	-0.523	-0.973	-0.595	-0.363	-0.638	-0.281	-0.231	0.198
27	-0.608	-0.318	-0.242	-1.664	-0.445	-0.354	-0.439	-0.738	-0.109	-0.345	-1.326	-0.148
28	-0.254	-0.213	-0.294	-0.375	-0.500	-0.494	-1.025	-0.970	-0.397	***	-0.192	-0.293
29	-0.277	-0.075	0.170	-0.271	-0.525	-0.521	-0.797	-0.560	-1.092	-0.288	-0.329	***
30	-0.318	---	***	-0.258	-0.958	-0.445	-0.548	-0.720	-1.491	-0.125	-0.301	***
31	***	---	***	---	-1.030	---	-0.029	---	---	---	---	---
MEAN	-0.282	-0.311	-0.384	-0.443	-0.477	-0.643	-0.629	-0.398	-0.250	-0.240	-0.267	-0.322

ITEM MOMENTUM FLUX (29.5m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DAT-100)
 UNIT = 0.1 (m/s)²
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-0.090	-0.073	-0.180	-0.234	-0.573	-0.161	-0.293	-0.217	-0.134	***	-0.097	-0.051
2	-0.105	***	-0.186	-0.190	-0.306	-0.157	-0.234	-0.197	-0.280	-0.064	-0.113	-0.048
3	-0.082	-0.152	-0.358	-0.303	-0.133	-0.177	-0.211	-0.179	-0.157	-0.157	-0.119	-0.058
4	-0.077	-0.181	***	-0.182	-0.813	-0.163	-0.154	***	-0.110	-0.120	-0.087	-0.054
5	-0.091	-0.331	-0.222	-0.211	-0.382	-0.171	-0.480	-0.249	***	***	-0.081	***
6	-0.040	-0.246	***	-0.187	-0.129	-0.081	-0.158	-0.143	-0.067	-0.202	-0.089	-0.211
7	-0.070	-0.248	-0.587	-0.129	-0.172	-0.139	-0.177	-0.116	-0.592	-0.071	-0.152	-0.041
8	-0.027	-0.102	-0.353	-0.301	-0.288	-0.509	-0.226	-0.080	***	***	***	0.084
9	-0.174	-0.174	-0.099	-0.139	***	-0.142	-0.141	0.001	-0.799	***	-0.043	-0.110
10	-0.043	-0.148	-0.152	-0.191	***	-0.043	-0.202	-0.174	-0.118	-0.070	-0.054	-0.146
11	-0.065	-0.087	-0.670	-0.180	-0.188	-0.221	-0.153	-0.148	-0.274	-0.010	-0.089	-0.095
12	-0.079	-0.207	-0.141	-0.089	-0.248	-0.130	-0.288	-0.067	-0.114	-0.046	-0.081	0.086
13	-0.462	-0.196	-0.136	-0.533	-0.587	-0.888	-0.313	-0.076	-0.177	-0.065	-0.218	0.121
14	***	-0.241	-0.172	-0.074	0.265	0.107	-0.194	-0.131	-0.321	-0.181	0.062	0.071
15	-0.072	-0.050	0.299	***	-0.252	-0.118	***	-0.098	-0.310	-0.093	***	-0.051
16	0.181	-0.462	-0.129	-0.213	0.043	0.388	***	0.078	-0.089	***	***	-0.331
17	-0.045	-0.178	-0.578	-0.269	0.068	-0.122	-0.125	-0.143	-0.052	***	-0.081	0.297
18	-0.102	-0.294	-0.559	-0.180	-0.200	-0.214	-0.168	-0.258	-0.253	-0.098	-0.141	-0.051
19	-0.151	-0.138	-0.138	-0.183	0.044	-0.243	-0.077	-0.838	-0.253	-0.066	***	-0.142
20	-0.110	-0.298	-0.072	***	0.151	-0.579	-0.118	-0.069	-0.124	***	***	-0.188
21	-0.073	-0.088	-0.173	-0.114	***	***	-0.143	-0.190	-0.382	***	-0.086	0.048
22	-0.161	-0.597	0.135	-0.178	0.288	-0.526	-0.298	-0.161	-0.216	-0.098	-0.064	-0.106
23	-0.284	***	-0.131	-0.810	-0.113	-0.113	-0.227	-0.068	-0.251	-0.074	-0.045	-0.307
24	-0.052	0.121	-0.131	-0.398	-0.205	-0.393	-0.141	-0.077	-0.179	-0.086	***	0.054
25	-0.173	-0.081	-0.049	-0.518	-0.144	-0.136	-0.238	-0.212	-0.150	***	-0.279	-0.088
26	-0.061	-0.431	-0.278	-0.323	-0.188	-0.325	-0.174	-0.146	-0.249	-0.156	-0.055	-0.059
27	-0.082	-0.398	-0.198	***	-0.248	-0.188	-0.197	-0.280	-0.088	-0.124	-0.030	-0.046
28	-0.242	-0.137	-0.158	-0.310	-0.273	-0.203	-0.351	-0.385	-0.105	-0.086	-0.079	-0.238
29	-0.175	-0.067	-0.237	-0.192	-0.183	-0.216	-0.334	-0.207	-0.368	-0.116	-0.065	***
30	-0.074	***	-0.348	-0.083	-0.359	-0.028	-0.284	-0.233	-0.691	***	-0.081	***
31	-0.170	***	***	1.085	***	0.283	***	***	***	***	***	***
MEAN	-0.201	-0.263	-0.237	-0.253	-0.179	-0.202	-0.174	-0.194	-0.223	-0.099	-0.118	-0.149

ITEM SENSIBLE HEAT FLUX (3.6m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DAT-100)
 UNIT = 0.1 (°C m/s)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.13	0.20	-0.01	0.45	0.40	0.13	0.15	0.00	0.04	0.15	0.01	***
2	0.08	-0.38	***	***	0.45	***	0.25	0.02	0.88	***	***	***
3	***	-0.03	0.21	0.27	0.03	0.14	0.36	-0.01	-0.82	-0.07	-0.02	0.25
4	***	0.15	***	-0.01	0.15	0.32	***	-0.01	0.82	-0.03	0.16	0.07
5	***	0.08	***	0.89	0.03	0.24	0.04	0.07	***	-0.14	0.18	***
6	0.14	***	0.28	0.42	0.20	0.07	0.08	0.02	0.84	-0.03	***	-0.07
7	***	0.20	0.41	0.39	***	***	0.10	***	-4.21	-0.21	0.03	0.05
8	0.14	0.20	0.48	0.34	0.31	0.17	0.23	0.03	-4.41	-0.01	0.07	-0.12
9	0.16	0.14	0.42	***	***	0.86	0.18	0.07	-4.36	***	***	-0.02
10	0.18	0.20	0.42	***	***	***	0.17	0.10	-0.09	***	0.20	0.20
11	0.13	0.22	0.40	0.31	0.25	-0.02	0.17	-0.04	0.87	0.02	0.07	0.26
12	0.21	***	0.03	0.42	0.21	0.20	0.20	***	0.16	***	***	-0.03
13	-0.12	***	0.38	0.12	***	0.00	***	0.06	-0.22	***	-0.05	0.20
14	-0.07	0.23	0.37	***	0.17	0.31	0.21	0.12	-0.03	-0.07	-0.01	0.18
15	-0.00	0.20	0.29	0.41	0.32	0.24	***	***	0.10	0.28	-0.04	0.06
16	0.12	0.23	0.33	0.44	0.01	0.23	***	***	0.21	***	***	0.10
17	0.07	0.21	0.34	***	***	0.12	0.14	0.03	0.11	***	0.14	0.17
18	0.19	0.30	***	0.45	***	0.07	***	0.05	-0.14	0.19	***	***
19	0.04	***	0.43	0.06	***	0.00	***	-0.10	-0.19	-0.02	***	0.14
20	-0.10	0.18	***	***	0.03	0.10	0.18	-0.18	-0.10	***	-0.02	0.04
21	0.09	0.30	***	0.41	***	-0.27	-0.04	-0.00	-0.23	***	0.09	0.21
22	-0.38	***	***	0.39	***	0.05	0.08	-0.01	-0.96	***	0.18	***
23	0.23	***	-0.05	0.21	0.07	0.10	-0.01	***	0.02	0.12	***	0.21
24	0.10	0.27	0.19	0.57	0.32	0.12	-0.04	0.26	0.81	0.14	-0.23	0.15
25	0.21	0.21	0.10	***	0.32	-0.06	-0.05	0.09	***	0.09	0.32	***
26	***	0.22	0.13	0.42	0.26	0.19	0.00	0.53	-0.28	***	***	0.12
27	0.15	0.34	0.48	-0.23	0.12	0.16	0.13	0.11	***	-0.08	0.05	0.18
28	0.20	0.29	0.47	0.26	***	-0.15	0.27	-0.08	-0.85	0.23	0.16	0.07
29	0.18	0.16	0.46	0.44	0.18	0.12	0.01	-0.05	-0.10	0.30	0.17	***
30	0.15	***	***	0.46	0.15	-0.01	0.02	***	-0.25	-0.02	***	***
31	***	***	***	0.17	***	-0.00	***	***	***	***	***	***
MEAN	0.10	0.20	0.29	0.52	0.19	0.11	0.12	0.02	-0.24	0.05	0.09	0.11

ITEM SENSIBLE HEAT FLUX (20.5m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER THERMOMETER (DAT-300)
 UNIT $\times 0.1$ ($^{\circ}\text{C m/s}$)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.02	0.03	-0.00	0.07	***	0.01	0.06	0.02	0.07	***	-0.00	0.03
2	0.06	***	0.02	0.00	0.07	0.04	0.06	0.00	0.03	***	0.01	0.02
3	0.03	***	0.05	0.03	0.01	0.04	0.06	0.01	0.02	-0.01	0.00	0.03
4	0.02	-0.04	***	-0.00	0.03	0.06	0.06	***	0.01	***	0.02	0.01
5	0.02	-0.02	0.05	0.06	-0.01	0.06	0.04	0.01	***	***	0.03	***
6	0.02	-0.04	***	***	***	***	0.02	0.02	0.01	-0.02	0.01	0.02
7	0.02	-0.02	0.07	0.06	0.00	-0.00	0.04	0.01	0.00	-0.04	0.01	0.01
8	0.06	-0.04	0.07	0.06	0.04	0.01	0.06	0.01	***	***	***	0.01
9	0.02	0.02	***	0.02	***	0.01	0.04	0.02	0.02	***	0.02	***
10	0.02	-0.06	0.05	-0.06	***	***	0.02	***	***	-0.00	0.02	0.02
11	0.03	-0.04	0.05	0.05	0.04	-0.00	0.03	0.02	0.03	-0.00	0.01	0.02
12	0.02	0.02	***	***	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	-0.00	-0.00	-0.00
13	-0.01	0.04	0.05	0.03	***	0.01	0.05	0.00	0.01	***	0.00	0.01
14	***	***	***	0.02	0.04	0.05	0.04	0.02	0.02	-0.00	0.00	0.02
15	0.01	0.05	0.04	***	0.06	0.04	***	-0.00	0.04	0.03	***	***
16	0.02	0.02	0.06	0.07	***	0.06	***	0.03	0.02	***	***	***
17	0.01	0.02	0.04	0.04	0.00	***	0.02	0.03	0.02	***	0.02	0.02
18	0.02	-0.06	-0.01	0.07	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	-0.02	-0.00	0.02
19	***	0.03	0.06	-0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	***	***	0.01
20	0.01	0.04	-0.00	***	-0.01	0.05	0.03	0.02	0.00	***	***	***
21	0.01	0.04	0.06	0.06	***	***	0.02	0.02	0.01	***	0.01	0.02
22	0.03	-0.03	-0.01	0.06	***	0.01	0.04	0.01	-0.00	-0.02	0.02	0.01
23	0.03	***	0.01	0.04	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02
24	0.01	0.03	***	0.06	0.05	***	0.02	***	0.01	0.02	0.02	0.02
25	0.03	0.02	0.01	0.00	0.05	-0.01	0.02	***	0.00	***	0.02	0.03
26	***	-0.05	0.02	0.06	0.05	-0.01	0.05	***	-0.02	-0.01	***	0.02
27	0.01	0.05	0.05	***	0.04	0.03	0.04	0.02	***	-0.01	0.04	0.02
28	0.01	0.05	0.06	0.04	0.04	0.01	0.05	***	0.01	***	0.02	0.01
29	0.02	0.02	***	0.07	0.05	0.01	***	-0.01	-0.01	0.03	0.02	***
30	0.01	---	0.02	0.06	0.04	0.01	***	***	-0.01	***	0.02	***
31	0.03	---	***	---	0.02	---	0.01	***	---	***	---	***
MEAN	0.02	0.04	0.03	0.05	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	-0.01	0.01	0.02

ITEM SHORT-WAVE RADIATION (1.5m HEIGHT)
 INSTRUMENT PYRANOMETER (GORGYNSKI TYPE)(M5-41F)
 UNIT (W/m^2)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	113.6	157.6	86.1	213.3	272.8	110.5	224.9	290.7	299.7	132.4	17.9	136.4
2	111.7	12.5	119.9	15.0	244.1	291.6	242.3	300.9	212.1	209.1	92.1	136.4
3	124.6	41.1	148.0	266.5	60.2	206.4	333.1	193.7	196.7	32.3	113.0	129.7
4	096.2	174.5	165.3	17.9	135.8	353.4	524.6	246.7	70.6	24.0	669.6	72.9
5	113.3	157.7	210.7	203.1	76.0	350.8	195.6	295.7	93.1	11.4	163.6	104.7
6	120.7	174.7	162.1	258.6	149.3	98.6	229.7	229.1	101.6	140.2	695.6	136.4
7	100.9	164.4	234.7	261.7	206.2	109.0	316.1	194.1	104.1	214.0	137.9	90.1
8	146.5	174.3	243.1	221.4	207.3	171.6	304.4	238.2	203.2	76.4	131.6	123.9
9	133.9	147.7	213.7	206.2	69.7	82.0	796.0	251.5	237.9	23.0	145.0	41.3
10	126.7	183.6	221.4	267.9	64.4	136.6	187.9	275.6	180.4	46.8	132.9	95.0
11	140.7	136.6	180.9	201.3	201.7	112.4	249.4	222.5	201.1	36.1	87.2	116.9
12	126.1	174.5	137.2	261.7	250.2	167.1	256.8	266.9	289.2	71.0	98.7	17.7
13	20.0	176.8	213.2	77.6	108.0	156.7	276.7	257.1	206.1	26.0	112.3	124.6
14	142.7	159.6	222.9	109.1	217.2	340.4	224.1	334.4	195.5	63.9	25.9	101.1
15	142.5	172.3	214.3	229.1	314.6	330.0	282.0	58.0	268.8	268.5	15.1	39.7
16	148.5	184.8	216.9	285.9	25.2	355.9	186.1	279.8	255.7	56.2	116.9	126.5
17	51.0	167.9	213.4	255.2	56.9	212.3	225.7	116.1	145.1	196.4	123.9	127.7
18	140.0	199.6	216.2	294.4	125.5	270.8	304.8	256.4	164.7	171.0	28.6	102.8
19	33.3	179.7	261.0	46.7	80.6	293.4	218.6	292.8	203.0	29.2	12.7	103.0
20	150.9	166.5	22.1	255.8	44.7	261.8	303.5	297.9	117.7	14.0	132.8	33.9
21	77.2	161.3	215.8	206.3	264.2	99.7	266.2	241.4	196.0	82.6	122.6	141.4
22	136.6	166.4	17.0	77.1	40.5	336.8	175.5	168.1	100.5	140.7	142.7	95.4
23	155.5	212.3	86.7	130.5	51.0	275.3	249.4	41.3	144.3	158.3	134.9	135.0
24	81.8	174.6	117.9	275.8	204.8	273.8	254.4	169.9	105.2	181.2	170.7	125.3
25	142.1	161.3	12.0	325.3	314.2	64.6	242.4	216.0	73.1	91.3	129.0	127.4
26	158.8	168.2	138.0	265.5	277.8	183.9	244.8	177.4	21.9	25.8	51.5	169.1
27	101.3	214.4	278.4	21.4	223.1	210.7	282.8	180.3	25.1	101.4	143.5	122.9
28	160.7	196.0	267.7	201.2	247.3	179.4	204.3	91.7	113.1	180.5	134.8	129.3
29	158.3	103.6	242.2	335.5	289.6	247.6	131.8	45.7	64.4	175.1	122.9	7.4
30	132.0	---	138.2	274.9	300.2	154.7	160.1	194.9	100.8	24.1	96.1	135.5
31	165.9	---	199.7	---	309.0	---	244.4	264.8	---	54.3	---	39.2
MEAN	122.0	161.8	166.6	222.9	157.3	171.0	259.2	205.5	159.2	105.0	103.4	96.4

ITEM	NET RADIATION (1.5m HEIGHT)											
INSTRUMENT	NET RADIOMETER (MIDDTON TYPE)(CN-1)											
UNIT	(W/m ²)											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	41.6	45.1	4.6	136.7	***	***	233.6	193.5	186.2	120.7	23.9	51.8
2	190.0	-3.3	56.8	30.4	***	***	232.1	202.7	171.0	118.1	45.5	43.0
3	34.3	20.0	85.1	111.5	***	***	237.2	131.1	144.5	14.0	48.0	42.7
4	23.6	90.0	80.9	3.7	***	***	236.5	173.9	55.8	13.6	94.3	33.6
5	37.4	47.4	69.9	199.4	***	***	184.1	151.9	39.7	10.5	93.5	33.7
6	33.8	64.1	67.8	115.5	***	***	173.7	178.9	78.0	117.7	53.4	71.0
7	30.0	49.4	71.8	116.3	***	***	234.2	114.0	142.9	118.1	64.9	2.8
8	22.8	90.1	83.7	108.8	***	***	223.2	173.8	181.6	34.3	53.9	29.2
9	30.4	43.9	74.0	121.7	***	***	214.1	179.9	174.3	17.7	99.5	13.4
10	25.6	51.9	86.7	133.7	***	***	140.0	203.2	137.5	13.9	86.3	85.1
11	-21.5	48.3	88.5	97.1	***	***	174.2	***	150.1	24.8	51.9	47.0
12	***	72.3	7.1	125.0	***	***	187.7	192.3	178.5	56.1	17.8	-8.4
13	4.3	62.8	70.9	31.4	***	***	205.7	182.9	150.2	18.4	48.3	41.3
14	-28.0	59.7	71.7	58.2	***	***	170.4	174.1	135.4	***	13.1	30.4
15	17.4	43.3	61.7	160.4	***	***	210.2	25.8	170.9	124.8	-8.4	27.3
16	24.4	39.9	78.0	139.3	***	***	146.8	199.8	173.6	19.8	32.0	26.3
17	18.3	65.3	30.1	113.3	***	***	167.4	92.1	104.6	128.1	53.2	18.4
18	-44.1	58.8	-3.0	127.5	***	***	228.3	208.4	119.1	109.1	***	35.4
19	11.8	50.2	122.7	18.7	***	***	158.1	211.9	142.4	35.5	4.8	28.0
20	70.9	53.8	3.5	131.3	***	***	231.4	209.7	76.8	10.8	75.7	14.0
21	28.3	98.1	110.7	***	***	***	187.0	170.5	137.8	26.9	52.5	16.6
22	-46.1	80.4	10.7	***	***	***	198.3	126.5	71.2	84.1	68.3	13.8
23	32.8	77.3	***	***	***	***	181.2	43.0	110.9	96.3	64.4	38.1
24	8.7	57.2	29.8	***	***	***	184.5	132.0	70.4	112.0	52.8	26.7
25	38.7	44.2	51.1	***	***	***	171.3	162.2	51.5	61.9	47.7	27.4
26	-41.5	60.5	66.4	***	***	***	178.5	131.7	20.5	10.7	18.7	18.4
27	18.4	59.5	142.9	***	***	***	201.3	140.4	15.3	49.3	47.3	25.9
28	39.6	76.8	107.3	***	***	***	228.9	87.9	72.9	90.8	56.5	17.7
29	40.3	37.0	111.8	***	***	***	100.7	34.7	43.9	91.4	48.5	-7.4
30	-43.0	***	18.0	***	***	***	136.2	108.0	78.5	11.4	34.3	23.4
31	97.7	***	119.7	***	***	***	176.8	138.8	***	57.3	***	-1.7
MEAN	36.0	53.9	71.1	***	***	***	191.5	148.8	112.3	56.6	48.4	34.7

ITEM	SUNSHINE DURATION (0.0m HEIGHT)											
INSTRUMENT	SUNSHINE RECORDER (MS-891)											
UNIT	(min)											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	500	498	14	642	491	36	778	644	538	844	6	138
2	358	0	252	156	331	488	775	686	292	804	12	78
3	524	0	207	643	0	638	764	291	188	0	38	84
4	324	568	264	0	132	792	786	436	0	6	80	81
5	442	471	530	859	0	704	164	257	0	0	28	93
6	802	560	374	584	27	62	382	344	32	341	1.8	120
7	344	503	810	584	629	41	733	123	316	537	30	54
8	540	570	627	423	588	71	644	428	584	0	54	170
9	499	384	485	581	0	0	595	540	500	0	42	8
10	518	876	576	676	0	28	188	816	332	4	78	122
11	511	344	416	267	584	1	424	346	334	0	35	86
12	402	500	0	594	198	144	430	518	640	38	10	34
13	126	478	512	0	10	178	522	548	417	0	45	104
14	873	418	578	43	244	732	208	481	400	48	290	188
15	544	540	518	578	609	775	580	0	682	614	18	138
16	516	581	495	632	0	784	188	528	868	2	38	104
17	0	532	362	642	0	198	283	23	232	595	44	120
18	511	594	0	688	36	488	604	454	344	500	19	168
19	88	541	599	0	18	616	310	688	473	0	232	246
20	560	460	0	517	0	360	660	722	130	0	137	130
21	182	406	487	717	456	10	374	524	457	739	44	246
22	380	444	0	601	0	770	524	126	184	1037	144	388
23	568	560	28	308	0	426	434	0	146	0	53	140
24	56	442	7	482	462	560	422	153	87	14	34	204
25	441	432	0	292	419	0	370	373	88	48	68	134
26	552	512	186	198	385	198	352	186	0	8	15	188
27	139	570	676	0	268	172	642	148	0	128	78	162
28	567	488	672	0	372	174	520	0	132	88	24	148
29	504	124	549	0	590	392	132	0	7	88	38	108
30	416	***	319	8	548	328	332	172	350	42	72	80
31	574	***	384	***	653	***	480	418	***	48	***	108
MEAN	403	450	343	377	258	346	467	345	278	201	57	126

ITEM	AIR TEMPERATURE (1.6m HEIGHT)											
INSTRUMENT	PT RESISTANCE THERMOMETER (E-711)											
UNIT	[°C]											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4.6	2.2	2.3	12.1	15.1	15.8	23.0	26.6	26.3	16.8	17.8	2.1
2	6.8	5.8	1.6	14.1	18.9	17.4	20.1	26.4	24.4	19.2	17.5	2.7
3	4.8	4.5	2.4	13.3	13.4	16.4	19.2	25.1	23.0	17.7	17.3	2.1
4	2.7	2.9	3.5	5.1	20.9	17.8	23.1	26.9	22.5	16.0	13.0	5.7
5	2.3	3.8	3.8	7.8	11.7	29.4	24.6	27.4	21.0	16.7	11.7	16.0
6	2.1	-2.0	5.9	11.6	12.0	19.9	27.8	28.4	25.6	17.1	13.9	8.8
7	0.9	1.5	2.1	14.4	16.1	23.1	27.9	26.2	26.7	14.0	13.3	2.8
8	1.4	0.8	2.5	10.0	17.2	19.2	22.2	26.4	26.4	13.9	13.5	5.1
9	1.0	3.2	4.9	12.8	16.3	16.0	28.0	26.5	23.8	17.2	10.3	7.9
10	-0.1	0.0	8.4	13.9	17.6	20.4	26.9	27.2	22.6	17.7	11.3	6.7
11	2.8	1.3	13.9	14.3	22.9	18.4	29.0	25.3	21.8	17.9	15.4	2.1
12	1.0	4.8	7.1	16.9	18.2	29.1	23.1	25.2	21.7	18.9	15.8	4.9
13	4.1	1.9	6.6	9.3	20.3	18.9	25.2	26.8	24.5	17.9	12.3	3.2
14	2.2	8.3	7.7	11.8	20.0	19.2	23.0	26.7	25.1	14.2	10.9	4.4
15	2.3	6.9	9.2	12.3	17.2	21.4	24.1	18.1	18.7	12.4	9.9	8.1
16	0.8	4.9	0.0	15.4	17.2	17.9	25.3	21.0	17.1	11.6	7.9	10.9
17	1.0	4.9	14.6	17.8	20.1	18.7	26.8	23.1	20.8	12.5	6.2	8.8
18	3.3	5.8	10.9	15.2	18.0	23.2	24.6	27.7	23.0	11.6	9.7	6.1
19	2.0	5.2	5.0	18.6	16.6	24.2	28.3	28.5	25.8	14.8	12.0	9.5
20	1.3	6.2	2.6	20.2	15.1	26.1	28.5	26.1	24.2	16.5	12.1	8.6
21	-3.3	9.0	4.5	17.1	18.8	25.2	28.4	23.1	26.1	15.0	9.8	8.9
22	1.0	11.5	3.3	19.2	11.0	27.0	25.5	22.2	22.8	13.8	8.3	5.0
23	0.5	8.8	6.0	12.5	11.8	25.9	26.8	29.1	21.8	11.5	6.6	2.8
24	-0.6	4.8	5.8	9.8	15.4	25.9	28.4	23.6	21.5	11.2	7.2	3.6
25	0.2	***	8.8	11.2	16.8	24.8	28.2	22.1	22.2	14.1	8.9	2.8
26	0.2	8.4	8.0	12.6	19.9	26.2	27.0	22.5	19.2	11.0	6.2	2.3
27	1.0	4.8	7.5	18.9	21.2	21.5	27.1	22.2	18.8	10.3	10.0	2.8
28	1.9	4.8	9.0	12.2	21.6	22.5	26.4	29.8	20.1	5.8	6.0	4.1
29	4.2	7.8	13.2	14.2	22.5	25.3	29.0	20.1	20.4	8.2	5.2	3.9
30	4.2	15.2	18.0	24.2	24.9	28.5	24.6	23.4	18.9	3.5	9.2	9.2
31	1.9	13.1	14.8	24.8	24.8	27.2	28.4	28.4	17.1	1.1	8.8	8.8
MEAN	2.2	4.9	6.1	11.6	17.5	21.3	25.9	24.8	22.8	14.4	10.2	5.3

ITEM	AIR TEMPERATURE (12.5m HEIGHT)											
INSTRUMENT	PT RESISTANCE THERMOMETER (E-711)											
UNIT	[°C]											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5.5	1.3	1.0	12.0	15.1	15.8	23.5	27.0	26.9	19.1	17.9	7.0
2	7.2	3.2	2.5	14.1	16.5	17.6	20.4	26.8	24.5	21.2	17.6	2.6
3	6.6	4.2	2.5	13.2	13.3	18.0	18.8	26.6	24.0	17.2	17.0	6.0
4	4.8	4.0	3.8	4.9	20.8	19.5	23.6	27.3	22.6	15.9	15.2	7.0
5	3.3	4.1	4.1	7.8	11.2	21.5	26.8	27.2	20.9	16.2	14.5	16.2
6	3.3	3.0	5.8	11.8	12.1	20.2	28.0	28.5	24.1	17.2	15.8	9.4
7	1.9	2.2	2.2	14.0	16.2	21.9	***	26.6	27.4	17.1	14.5	5.2
8	2.3	2.3	3.9	10.0	17.4	19.0	27.1	26.0	26.9	14.8	16.0	3.6
9	2.2	4.1	5.8	13.9	16.2	18.4	27.9	27.2	24.0	17.1	13.9	8.5
10	1.6	1.3	9.2	14.4	17.4	20.2	27.1	27.8	22.8	17.8	14.1	10.6
11	3.5	2.3	14.4	14.1	22.5	18.5	28.5	25.9	21.2	17.9	16.2	9.9
12	1.9	5.0	7.6	17.3	18.4	19.4	23.2	26.5	22.2	19.1	16.3	8.0
13	4.1	4.5	7.1	9.1	20.5	19.2	24.9	27.9	24.2	18.1	12.9	9.3
14	2.3	8.3	6.1	11.2	19.9	20.4	23.2	27.5	26.2	15.1	11.0	6.2
15	2.3	6.8	5.8	12.4	12.0	22.2	24.3	19.2	20.1	15.0	10.9	3.3
16	1.9	5.4	9.8	15.8	17.0	17.4	25.2	22.8	19.5	13.1	10.5	11.2
17	1.3	5.5	14.8	18.4	20.8	19.2	27.2	23.1	22.8	14.1	9.8	7.8
18	3.8	6.2	10.8	15.4	18.2	23.8	27.8	28.3	24.6	14.0	10.2	7.0
19	3.0	6.8	4.2	17.3	17.8	24.8	27.9	28.9	28.3	14.2	12.0	7.0
20	4.6	6.0	2.2	20.3	14.9	28.2	30.3	25.3	25.1	16.5	13.4	8.5
21	6.1	9.4	4.4	16.0	18.1	25.2	29.2	23.6	27.0	16.3	11.2	4.2
22	1.8	11.5	3.4	19.8	18.8	27.0	28.2	25.8	23.6	16.2	12.0	5.9
23	2.0	20.1	4.9	12.5	11.8	26.6	26.9	20.1	21.8	14.6	10.4	4.5
24	0.9	5.8	8.1	10.8	15.3	26.8	28.2	23.8	21.5	13.1	10.8	3.1
25	1.5	5.4	8.0	11.8	12.0	24.2	28.4	23.4	22.1	15.4	11.2	4.4
26	2.3	8.6	8.2	12.9	20.1	20.4	27.8	22.8	19.8	13.8	8.5	4.0
27	1.2	4.8	5.2	17.0	21.2	21.2	27.2	22.2	18.4	11.2	13.4	3.8
28	3.4	5.5	9.6	13.0	21.6	22.2	26.3	20.9	20.1	9.3	9.5	4.2
29	5.4	8.2	13.4	14.4	22.9	25.2	25.9	20.1	20.6	10.8	8.8	3.8
30	4.8	15.2	16.9	25.0	25.0	29.4	24.5	24.4	11.5	6.4	3.4	3.4
31	3.5	15.2	16.9	24.6	24.6	27.2	29.0	29.0	17.1	1.1	8.8	8.8
MEAN	3.3	5.2	7.4	13.8	17.8	21.8	26.1	25.3	23.3	15.9	12.2	6.8

ITEM	AIR TEMPERATURE (20.5m HEIGHT)											
INSTRUMENT	PT RESISTANCE THERMOMETER (E-731)											
UNIT	($^{\circ}$ C)											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	***	***	3.0	11.8	15.1	15.4	23.2	26.6	28.7	16.2	17.8	8.0
2	***	***	3.0	13.0	10.1	17.4	20.1	26.4	24.6	20.9	17.2	8.5
3	***	***	2.6	12.0	11.0	18.1	19.5	26.3	23.8	17.4	17.6	8.6
4	***	***	3.9	4.8	20.4	19.7	23.4	26.9	22.2	15.6	15.3	7.2
5	***	***	4.8	7.4	11.5	21.7	26.0	27.2	20.8	16.0	14.6	16.0
6	***	***	5.8	11.5	11.9	20.1	27.5	28.0	23.4	17.5	14.1	9.4
7	***	***	3.0	14.8	16.0	21.5	28.2	26.2	27.0	17.5	14.5	4.6
8	***	***	8.6	9.8	17.3	19.8	26.5	26.5	28.4	15.0	14.0	8.4
9	***	***	6.3	12.0	16.1	16.1	27.4	26.8	23.6	17.1	14.8	8.6
10	***	***	9.5	14.4	17.1	20.4	26.8	27.4	22.5	17.5	14.4	19.9
11	***	***	14.4	13.8	22.1	18.2	25.2	25.5	21.4	17.8	16.4	19.1
12	***	***	7.4	17.2	18.2	19.5	22.8	26.3	21.9	18.8	16.3	6.7
13	***	***	7.6	8.9	20.2	19.1	24.4	27.5	24.4	17.8	12.9	9.7
14	***	***	8.2	11.8	19.5	20.5	23.2	27.2	25.0	15.3	10.8	7.2
15	***	***	8.7	12.4	16.6	22.8	24.0	19.1	19.4	15.0	11.0	8.3
16	***	***	8.8	15.2	16.7	17.2	24.7	22.8	19.8	13.1	11.0	11.0
17	***	***	18.9	13.4	19.8	19.2	25.8	22.7	22.5	14.4	10.8	7.6
18	***	***	10.6	15.2	12.4	23.4	27.8	27.9	24.4	14.1	10.1	7.2
19	***	***	4.5	17.1	16.8	24.3	27.8	28.5	23.8	14.8	11.9	7.3
20	***	***	2.7	20.0	24.7	25.7	30.7	28.8	24.7	16.2	13.4	8.1
21	***	***	4.3	18.0	15.8	25.3	29.5	23.2	26.4	14.9	11.7	8.7
22	***	***	3.9	19.8	10.5	26.5	25.3	22.5	23.3	16.9	12.3	6.1
23	***	***	4.7	12.2	11.3	26.4	26.4	19.7	21.5	14.7	11.5	5.0
24	***	***	6.3	10.7	14.8	26.3	28.2	23.4	21.1	13.3	11.7	4.0
25	***	***	8.6	11.8	16.9	24.1	27.9	23.3	21.4	15.4	12.4	4.7
26	***	8.7	8.2	12.9	15.8	19.6	27.3	22.6	19.4	13.8	9.6	4.5
27	***	4.8	9.8	16.9	20.8	20.8	25.7	21.8	18.1	11.2	14.0	4.1
28	***	5.7	9.6	12.8	21.3	21.8	25.7	20.5	19.7	16.1	10.2	4.8
29	***	8.8	13.2	14.4	22.5	24.8	25.4	19.7	20.3	10.8	9.0	1.8
30	***	-	15.8	12.1	24.8	24.7	28.0	24.1	24.2	11.5	7.8	2.1
31	***	-	18.7	-	24.0	-	26.8	28.5	-	16.8	-	8.8
MEAN	***	7.1	7.5	12.7	17.2	21.3	25.8	25.0	23.8	15.3	13.0	7.1

ITEM	SOIL TEMPERATURE (0.03m DEPTH)											
INSTRUMENT	PT RESISTANCE THERMOMETER (E-731)											
UNIT	($^{\circ}$ C)											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4.8	3.4	6.1	11.7	14.2	18.7	21.7	24.4	22.5	19.7	14.4	8.4
2	5.2	3.8	5.3	11.5	13.4	17.7	20.8	24.1	22.7	19.2	15.0	8.1
3	5.8	4.2	5.2	11.2	13.2	17.4	20.2	23.0	22.4	19.1	15.2	7.7
4	5.2	4.5	5.7	10.4	14.2	18.9	20.1	24.0	22.1	18.5	14.7	7.4
5	4.8	4.0	5.3	9.7	14.3	17.0	21.1	23.9	21.8	17.8	14.1	9.1
6	4.7	3.8	5.4	10.2	13.4	17.5	22.0	24.3	21.8	17.4	13.9	9.8
7	4.4	3.4	5.3	11.0	12.9	18.1	21.1	24.0	22.0	17.1	13.0	8.7
8	4.2	3.1	4.9	11.8	14.4	18.6	22.5	24.2	22.7	16.4	14.1	8.4
9	3.7	3.0	5.0	11.4	14.5	17.2	22.3	24.1	22.5	16.0	13.5	8.3
10	3.4	3.0	5.4	11.8	14.2	17.2	22.9	24.1	22.1	16.5	13.9	8.8
11	3.4	3.1	6.0	12.3	15.8	18.1	22.5	24.1	21.8	17.2	12.4	8.8
12	3.3	3.3	7.6	12.7	16.4	17.0	21.9	23.8	21.4	17.5	14.4	8.6
13	4.8	3.8	8.8	12.5	15.8	18.2	21.8	23.7	21.4	17.8	14.0	8.8
14	4.0	4.6	6.8	11.8	17.0	15.1	21.8	23.7	21.8	17.2	13.5	8.3
15	3.5	5.2	7.5	12.2	16.7	18.2	21.9	22.5	21.2	16.5	13.1	8.1
16	3.4	4.8	8.1	12.5	16.4	18.2	22.1	21.8	20.1	15.7	12.4	8.8
17	3.2	4.7	8.8	13.1	16.8	17.8	22.5	21.8	19.9	15.3	12.5	8.2
18	3.8	4.9	8.6	13.5	17.1	18.5	22.9	22.3	20.4	14.8	11.2	7.9
19	4.9	4.5	8.7	13.4	18.4	22.2	22.7	23.2	21.2	14.9	13.6	7.5
20	3.2	5.8	7.8	14.4	16.8	20.8	22.8	23.7	21.5	15.2	12.1	8.1
21	4.1	4.9	7.1	14.4	15.3	20.7	23.1	22.9	21.8	15.4	11.8	8.1
22	4.0	6.5	7.2	14.7	15.0	21.1	23.1	22.5	21.8	15.8	11.5	8.0
23	3.4	7.0	6.8	14.4	14.4	21.2	23.2	21.9	21.1	15.8	10.4	8.9
24	3.9	6.5	7.0	13.5	14.2	21.8	23.6	21.8	20.9	14.5	10.5	5.8
25	3.7	6.5	7.7	12.7	15.2	21.4	23.8	22.0	21.1	14.8	10.2	5.9
26	2.6	6.7	8.4	12.2	15.8	21.1	24.8	21.8	20.8	14.2	9.8	5.4
27	2.7	6.5	7.9	13.1	16.8	22.2	24.0	22.0	20.3	14.1	10.1	5.8
28	2.2	6.0	8.4	13.7	17.5	22.8	24.0	21.2	20.1	13.1	9.2	5.3
29	3.9	8.3	8.9	13.3	18.0	21.3	23.9	21.1	20.1	12.2	8.5	5.4
30	3.5	-	9.8	13.7	18.8	21.8	24.1	21.2	20.4	12.4	9.2	4.9
31	3.8	-	12.0	-	19.8	-	24.4	22.2	-	13.2	-	4.2
MEAN	3.8	4.8	7.2	12.5	15.7	18.1	22.6	23.0	21.4	15.9	12.4	7.5

ITEM	SOIL TEMPERATURE (0.10m DEPTH)											
INSTRUMENT	PT RESISTANCE THERMOMETER (E-711)											
UNIT	[°C]											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5.4	3.9	6.5	11.3	13.8	16.1	21.2	24.3	22.7	20.5	14.4	9.7
2	5.6	4.0	5.9	11.4	13.5	17.9	20.8	24.1	22.9	19.9	15.0	9.3
3	5.9	4.3	6.6	11.1	13.2	17.6	20.2	24.0	22.7	19.6	15.4	8.6
4	5.8	4.6	5.7	10.9	13.6	17.2	19.8	23.9	22.5	19.2	15.3	8.6
5	5.5	4.4	5.7	9.6	14.1	17.1	20.4	23.6	22.2	18.0	14.8	8.2
6	5.3	4.3	5.8	10.2	13.5	17.4	21.1	24.2	22.1	19.1	14.5	10.1
7	5.1	4.0	5.6	10.6	13.5	17.7	***	24.3	22.3	18.0	14.5	9.6
8	4.9	3.7	5.3	11.2	14.1	16.3	21.4	24.2	22.7	17.6	14.5	9.0
9	4.6	3.5	5.3	11.0	14.3	17.9	21.8	24.1	22.8	16.7	14.3	9.0
10	4.3	3.6	5.5	11.6	14.6	17.6	22.0	24.0	22.6	17.1	13.8	9.3
11	4.1	3.5	6.3	11.8	15.2	18.1	21.8	24.0	22.3	17.5	13.8	9.4
12	4.0	3.6	7.1	12.2	16.0	17.0	21.4	23.7	22.0	17.0	14.5	9.3
13	4.3	4.0	6.8	12.4	15.8	18.2	21.6	23.6	21.8	18.1	14.6	9.2
14	4.5	4.5	6.8	11.8	16.3	18.1	21.5	23.7	22.1	18.0	14.1	9.2
15	4.2	5.1	7.2	11.0	16.5	18.2	21.3	23.1	21.9	17.4	13.6	8.9
16	4.1	5.0	7.7	12.1	16.3	18.3	22.0	21.8	21.0	16.6	13.2	9.2
17	3.9	4.9	8.1	12.6	16.4	18.0	22.2	22.0	20.5	16.2	12.5	9.1
18	4.1	5.0	8.0	12.8	16.8	18.2	22.5	22.4	20.7	15.7	12.2	8.7
19	4.4	4.8	8.4	13.1	16.5	18.9	22.6	22.0	21.1	15.7	12.1	8.6
20	4.3	5.3	8.7	13.5	16.3	19.4	22.6	21.8	21.5	15.7	12.4	8.6
21	4.4	4.6	7.4	14.0	16.6	20.0	23.0	23.1	21.7	16.1	12.4	8.8
22	4.3	6.1	7.5	14.1	16.5	20.5	22.6	22.7	21.9	15.7	12.2	8.7
23	4.1	7.2	7.2	14.3	16.0	20.8	23.0	22.4	21.6	15.6	11.7	8.1
24	3.7	6.7	7.2	13.5	14.8	20.9	23.2	22.1	21.4	15.3	11.5	7.3
25	3.4	6.5	7.5	13.0	15.3	21.1	23.4	22.3	21.5	15.2	11.1	7.0
26	3.3	6.6	8.1	12.8	15.8	20.9	23.5	22.2	21.4	15.3	10.7	6.7
27	3.3	6.7	8.0	12.9	16.5	20.6	23.5	22.2	21.0	15.0	10.7	6.5
28	3.3	6.3	8.2	13.4	17.0	20.6	23.5	22.1	20.7	14.2	10.6	6.4
29	3.3	6.4	8.6	13.1	17.5	20.8	23.6	21.7	20.7	13.4	10.4	6.4
30	3.7		9.3	13.3	17.9	21.1	23.9	21.6	20.7	13.3	10.1	6.0
31	4.1		11.4		18.7		24.1	22.2		15.9		6.1
MEAN	4.4	5.0	7.2	12.1	15.5	18.9	22.2	23.1	21.8	16.7	13.8	8.4

ITEM	SOIL TEMPERATURE (0.50m DEPTH)											
INSTRUMENT	PT RESISTANCE THERMOMETER (E-711)											
UNIT	[°C]											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3.0	1.4	2.3	3.9	6.6	9.3	11.6	14.2	13.7	13.3	8.8	6.7
2	2.9	1.4	2.3	4.2	6.6	9.4	11.7	14.3	13.9	13.2	8.9	8.6
3	2.9	1.4	2.3	4.1	6.6	9.5	11.7	14.3	13.9	13.1	9.0	8.4
4	2.9	1.4	2.0	4.4	6.7	9.5	11.7	14.4	14.0	12.9	9.1	8.0
5	2.9	1.4	2.3	4.5	6.7	9.5	11.8	13.9	14.1	12.7	9.2	8.8
6	2.8	1.5	2.2	4.8	6.8	9.8	11.6	14.4	14.0	12.4	9.2	8.8
7	2.8	1.5	2.1	4.4	6.8	9.4	11.8	14.4	13.9	12.3	9.1	8.9
8	2.7	1.4	2.1	4.4	6.8	9.5	12.2	14.5	13.9	12.1	9.1	8.9
9	2.6	1.4	2.1	4.0	6.9	9.7	12.0	14.5	14.0	11.7	9.1	8.8
10	2.4	1.3	2.1	4.7	7.0	9.7	12.5	14.5	14.0	11.5	9.0	8.7
11	2.4	1.2	2.0	4.8	7.1	9.7	12.5	14.6	14.0	11.4	8.9	8.0
12	2.3	1.2	2.1	4.9	7.3	9.8	12.5	14.6	14.0	11.3	8.7	8.6
13	2.2	1.2	2.3	5.1	7.5	9.9	12.4	14.5	13.9	11.3	8.8	8.5
14	2.1	1.2	2.4	5.2	7.7	9.9	12.7	14.5	13.9	11.4	8.9	8.5
15	2.1	1.3	2.4	5.3	7.9	10.0	12.6	14.5	13.9	11.4	8.7	8.5
16	2.0	1.4	2.5	5.3	8.0	10.0	12.7	14.4	13.8	11.5	8.7	8.4
17	2.0	1.4	2.6	5.4	8.1	10.1	12.8	14.2	13.7	11.4	8.5	8.4
18	1.9	1.5	2.8	5.5	8.2	10.1	12.9	14.1	13.5	11.0	8.4	8.4
19	1.9	1.6	2.9	5.7	8.3	10.3	13.0	14.3	13.4	10.8	8.0	8.8
20	1.9	1.6	3.1	5.8	8.5	10.2	13.2	14.1	13.4	10.7	7.9	8.2
21	1.8	1.6	3.1	5.9	8.9	10.4	13.3	14.2	13.4	10.7	7.8	8.1
22	1.8	1.7	3.1	6.1	8.7	10.5	13.3	14.2	13.5	10.2	7.8	8.1
23	1.8	1.8	3.0	6.3	8.6	10.8	13.6	14.2	13.6	10.2	7.7	8.1
24	1.8	2.0	3.0	6.4	8.4	10.9	13.3	14.1	13.6	10.1	7.6	8.0
25	1.7	2.1	2.9	6.4	8.4	11.1	13.4	14.0	13.9	10.0	7.5	4.8
26	1.6	2.2	3.0	6.4	8.4	11.3	13.5	14.0	13.6	10.0	7.3	4.7
27	1.5	2.2	3.0	6.4	8.4	11.3	13.6	14.0	13.5	9.9	7.2	4.5
28	1.4	2.3	3.1	6.4	8.5	11.4	13.6	13.9	13.5	9.8	7.1	4.3
29	1.4	2.3	3.2	6.4	8.7	11.5	13.7	13.9	13.4	9.6	7.0	4.2
30	1.3		3.3	6.4	8.9	11.5	13.9	13.8	13.3	9.4	6.8	4.1
31	1.3		3.7		9.0		14.1	13.7		8.7		4.0
MEAN	2.1	1.6	2.6	5.3	7.8	10.2	12.7	14.2	13.7	11.1	6.3	8.4

ITEM	SOIL TEMPERATURE (1.00m DEPTH)											
INSTRUMENT	PT RESISTANCE THERMOMETER (E-731)											
UNIT	($^{\circ}$ C)											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	11.6	8.3	0.0	9.3	11.7	13.9	16.1	18.0	19.5	19.6	18.9	15.0
2	11.5	9.3	9.0	9.4	11.7	14.0	16.2	18.7	19.5	19.6	16.8	14.8
3	11.4	9.2	0.0	9.5	11.8	14.1	16.3	18.6	19.5	19.6	16.8	14.8
4	11.3	9.2	9.0	9.6	11.9	14.2	16.4	18.8	19.5	19.6	16.7	14.7
5	11.2	9.2	9.0	9.7	11.9	14.3	16.4	18.3	19.5	19.7	16.7	14.6
6	11.1	9.1	9.1	9.8	12.0	14.3	16.5	19.0	19.6	19.8	16.7	14.4
7	11.1	9.1	9.0	9.9	12.0	14.4	16.5	19.0	19.6	19.6	16.6	14.3
8	11.0	9.1	9.0	10.0	12.1	14.5	16.4	19.1	19.8	19.5	16.6	14.2
9	10.9	9.0	9.0	10.1	12.1	14.5	16.0	19.2	19.6	19.5	16.6	14.1
10	10.9	9.0	9.0	10.1	12.2	14.6	16.4	19.3	19.5	19.5	16.5	14.0
11	10.8	9.0	9.0	10.2	12.2	14.6	16.4	19.3	19.6	19.5	16.5	14.0
12	10.7	8.9	9.0	10.3	12.3	14.7	16.5	19.3	19.6	19.7	16.4	13.9
13	10.6	8.9	9.0	10.3	12.3	14.8	16.4	19.3	19.6	19.6	16.4	13.8
14	10.5	8.9	9.0	10.4	12.4	14.9	16.6	19.4	19.5	19.6	16.3	13.7
15	10.5	8.8	9.0	10.5	12.5	15.0	16.5	19.4	19.7	19.6	16.3	13.7
16	10.4	8.8	9.0	10.5	12.6	15.0	16.8	19.5	19.7	19.6	16.2	13.6
17	10.3	8.8	9.0	10.7	12.7	15.1	17.1	19.5	19.6	19.5	16.2	13.5
18	10.3	8.8	9.0	10.7	12.8	15.1	17.1	19.8	19.6	19.5	16.1	13.5
19	10.4	8.8	9.1	10.8	12.9	15.2	17.3	19.6	19.6	19.4	16.0	13.4
20	10.1	8.8	9.1	10.9	13.0	15.2	17.3	19.9	19.6	19.6	15.9	13.3
21	10.0	8.8	9.2	10.9	13.1	15.3	17.3	19.6	19.5	19.5	15.8	13.3
22	9.9	8.8	9.2	11.0	13.2	15.3	17.6	19.5	19.5	19.3	15.7	13.2
23	9.9	8.8	9.3	11.2	13.3	15.4	17.7	19.4	19.5	19.4	15.7	13.2
24	9.8	8.8	9.3	11.2	13.3	15.5	17.8	19.5	19.5	19.4	15.6	13.1
25	9.8	8.8	9.3	11.3	13.3	15.6	17.9	19.5	19.5	19.4	15.5	13.0
26	9.7	8.8	9.3	11.4	13.3	15.7	18.0	19.5	19.5	19.4	15.5	13.0
27	9.7	8.9	9.3	11.5	13.3	15.7	18.1	19.5	19.5	19.4	15.4	12.9
28	9.6	8.9	9.3	11.5	13.3	15.9	18.1	19.5	19.5	19.5	15.3	12.8
29	9.6	9.0	9.3	11.6	13.3	16.0	18.2	19.5	19.6	19.4	15.2	12.7
30	9.5	9.0	9.4	11.6	13.3	16.0	18.3	19.5	19.6	19.4	15.1	12.6
31	9.4	9.1	9.4	11.8	13.3	16.4	18.4	19.5	19.6	19.4	15.0	12.5
MEAN	10.3	9.0	9.1	10.5	12.6	15.0	17.1	19.3	19.6	19.4	16.1	13.7

ITEM	GROUND WATER LEVEL (2.2m DEPTH)											
INSTRUMENT	WATER LEVEL GAUGE (PRESSURE TRANSDUCER-TYPE)											
UNIT	(m)											
YEAR	2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-1.82	-2.04	-2.19	-1.35	-1.84	-1.69	-1.98	-2.14	-2.23	-1.88	-0.98	-1.51
2	-1.85	-2.04	-2.19	-1.25	-1.85	-1.71	-2.06	-2.08	-2.23	-1.71	-1.10	-1.63
3	-1.81	-2.05	-2.19	-1.28	-1.86	-1.72	-2.03	-2.06	-2.34	-1.65	-1.21	-1.64
4	-1.82	-2.05	-2.19	-1.38	-1.87	-1.74	-2.04	-2.04	-2.24	-1.36	-1.32	-1.65
5	-1.82	-2.06	-2.19	-1.44	-1.89	-1.75	-2.06	-2.04	-2.23	-1.04	-1.38	-1.59
6	-1.83	-2.06	-2.20	-1.47	-1.90	-1.77	-2.05	-2.04	-2.18	-0.77	-1.42	-1.53
7	-1.84	-2.07	-2.20	-1.50	-1.91	-1.78	-2.10	-2.04	-2.10	-1.06	-1.46	-1.54
8	-1.85	-2.07	-2.20	-1.53	-1.92	-1.79	-2.12	-2.04	-2.08	-1.34	-1.49	-1.56
9	-1.85	-2.08	-2.19	-1.54	-1.94	-1.80	-2.13	-2.05	-2.04	-0.17	-1.51	-1.55
10	-1.86	-2.08	-2.18	-1.55	-1.95	-1.84	-2.14	-2.06	-2.03	-0.33	-1.53	-1.58
11	-1.87	-2.09	-2.17	-1.57	-1.95	-1.82	-2.16	-2.07	-2.03	-0.64	-1.55	-1.62
12	-1.88	-2.09	-2.18	-1.59	-1.96	-1.82	-2.17	-2.08	-2.04	-0.94	-1.52	-1.64
13	-1.89	-2.10	-2.15	-1.62	-1.96	-1.77	-2.19	-2.10	-2.08	-0.86	-1.45	-1.65
14	-1.90	-2.10	-2.15	-1.63	-1.96	-1.70	-2.20	-2.11	-2.06	-0.90	-1.46	-1.66
15	-1.91	-2.11	-2.15	-1.65	-1.97	-1.70	-2.21	-2.12	-2.07	-1.14	-1.43	-1.67
16	-1.92	-2.11	-2.16	-1.64	-1.97	-1.72	-2.23	-2.11	-2.08	***	-1.33	-1.68
17	-1.93	-2.12	-2.17	-1.69	-1.98	-1.74	-2.23	-2.10	-2.09	***	-1.38	-1.69
18	-1.94	-2.13	-2.17	-1.70	-1.96	-1.76	-2.23	-2.10	-2.10	***	-1.43	-1.70
19	-1.94	-2.12	-2.18	-1.72	-1.98	-1.78	-2.23	-2.11	-2.12	-1.43	-1.37	-1.71
20	-1.95	-2.13	-2.18	-1.73	-1.94	-1.80	-2.23	-2.12	-2.13	-0.83	-1.43	-1.72
21	-1.96	-2.13	-2.16	-1.74	-1.73	-1.81	-2.24	-2.13	-2.14	-0.12	-1.50	-1.73
22	-1.97	-2.13	-2.10	-1.75	-1.71	-1.83	-2.24	-2.14	-2.15	-0.56	-1.37	-1.74
23	-1.98	-2.14	-2.07	-1.76	-1.35	-1.85	-2.25	-2.15	-2.14	-0.68	-1.42	-1.75
24	-1.99	-2.14	-1.97	-1.77	-1.43	-1.86	-2.25	-2.16	-2.12	-1.09	-1.45	-1.75
25	-2.00	-2.15	-1.94	-1.78	-1.40	-1.88	-2.26	-2.17	-2.10	-1.31	-1.44	-1.76
26	-2.01	-2.17	-1.92	-1.79	-1.53	-1.89	-2.26	-2.17	-2.08	-1.29	-1.51	-1.77
27	-2.01	-2.18	-1.89	-1.78	-1.56	-1.91	-2.27	-2.18	-2.09	-1.33	-1.53	-1.78
28	-2.02	-2.18	-1.85	-1.80	-1.50	-1.91	-2.27	-2.19	-1.89	-1.35	-1.56	-1.79
29	-2.02	-2.18	-1.84	-1.82	-1.61	-1.94	-2.28	-2.20	-1.83	-1.39	-1.58	-1.79
30	-2.03		-1.84	-1.83	-1.64	-1.96	-2.28	-2.21	-1.73	-1.42	-1.60	-1.80
31	-2.03		-1.77		-1.67		-2.24	-2.20		-0.96		-1.80
MEAN	-1.92	-2.11	-2.08	-1.62	-1.77	-1.80	-2.18	-2.11	-2.08	-1.05	-1.41	-1.62

ITEM GROUND WATER LEVEL (10.0m DEPTH)
 INSTRUMENT WATER LEVEL GAUGE (PRESSURE TRANSDUCER TYPE)
 UNIT (m)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-2.01	-1.61	-1.47	-0.88	-0.51	-0.17	-0.45	-0.68	-3.10	-2.30	-1.88	-2.02
2	-2.05	-1.63	-1.48	0.65	0.52	-0.18	-0.47	-0.73	-3.17	-2.28	-1.47	-2.03
3	-2.07	-1.63	-1.58	2.53	-0.55	-0.19	-0.49	-0.68	-3.25	-0.23	-1.57	-2.04
4	-1.00	-1.67	-1.57	2.49	-0.55	0.21	-0.52	-0.67	-3.28	-2.01	-1.66	-2.04
5	-1.02	-1.68	-1.60	2.39	-0.54	0.22	-0.54	-0.66	-3.15	-1.81	-1.73	-1.99
6	-1.02	-1.72	-1.60	2.34	-0.50	0.23	-0.56	-0.69	-3.09	-1.61	-1.84	-1.98
7	-1.04	-1.74	-1.65	2.31	-0.61	0.23	-0.59	-0.70	-3.00	-1.77	-1.95	-2.04
8	-1.03	-1.79	-1.67	2.27	-0.64	0.23	-0.61	-0.66	-2.99	-1.83	-1.99	-2.00
9	-1.05	-1.83	-1.66	2.26	-0.65	0.24	-0.63	-0.64	-2.97	-0.41	-2.04	-2.00
10	-1.06	-1.86	-1.62	0.27	-0.61	-0.26	-0.64	-0.65	-2.85	-0.35	-2.09	-2.02
11	-1.08	-1.88	-1.62	-0.28	-0.60	-0.29	-0.65	-0.65	-2.80	-0.11	-2.05	-2.03
12	-1.11	-1.90	-1.62	-0.28	-0.61	-0.32	-0.67	-0.70	-2.78	-1.31	-2.06	-2.05
13	-1.06	-1.92	-1.69	-0.29	-0.65	-0.27	-0.66	-0.73	-2.87	-1.37	-2.03	-2.04
14	-1.09	-1.91	-1.65	-0.30	-0.62	0.22	-0.72	-0.76	-2.88	-1.51	-2.04	-2.10
15	-1.15	-1.91	-1.65	0.29	-0.63	-0.22	-0.75	-0.78	-2.90	-1.54	-1.98	-2.14
16	-1.22	-1.97	-1.68	0.30	-0.62	0.24	-0.81	-0.83	-2.92	***	-1.90	-2.12
17	-1.25	-1.90	-1.68	0.30	-0.61	0.23	-0.81	-0.85	-2.94	***	-1.96	-2.08
18	-1.26	-1.89	-1.68	0.31	-0.59	0.23	-0.81	-0.81	-2.91	***	-2.00	-2.10
19	-1.24	-1.83	-1.68	0.31	-0.58	0.24	-0.82	-0.79	-2.92	-1.80	-1.90	-2.12
20	-1.32	-1.79	-1.70	0.29	-0.65	0.25	-0.83	-0.76	-2.94	-1.30	-1.83	-2.17
21	-1.35	-1.73	-1.70	-0.30	-0.70	0.26	-0.85	-0.78	-2.93	-0.93	-1.83	-2.16
22	-1.33	-1.70	-1.67	-0.29	-0.63	0.27	-0.88	-0.91	-2.96	-0.79	-1.87	-2.18
23	-1.35	-1.78	-1.60	-0.29	-0.63	-0.31	-0.94	-0.82	-2.98	-1.24	-1.92	-2.25
24	-1.38	-1.77	-1.58	-0.33	-0.64	-0.34	-1.04	-0.83	-2.95	-1.31	-1.93	-2.27
25	-1.39	-1.71	-1.54	-0.37	-0.67	-0.37	-1.15	-0.84	-2.99	-1.45	-1.97	-2.24
26	-1.43	-1.77	-1.45	-0.40	-0.72	-0.38	-1.27	-0.86	-2.97	-1.54	-1.99	-2.25
27	-1.44	-1.83	-1.35	-0.42	-0.72	-0.38	-1.38	-0.89	-2.91	-1.57	-1.94	-2.28
28	-1.46	-1.88	-1.38	-0.43	-0.72	-0.46	-1.50	-0.92	-2.93	-1.60	-1.96	-2.33
29	-1.49	-1.88	-1.37	-0.47	-0.72	-0.47	-1.57	-0.96	-2.91	-1.66	-1.98	-2.32
30	-1.55	-1.89	-1.39	-0.49	-0.73	-0.44	-1.57	-1.01	-2.84	-1.70	-2.01	-2.32
31	-1.57	-1.97	-1.37	-0.55	-0.75	-0.52	-1.68	-1.04	-2.88	-1.48	-1.98	-2.34
MEAN	-1.21	-1.63	-1.56	-0.27	-0.42	0.27	-0.86	-0.79	-2.91	-1.46	-1.90	-2.13

ITEM DEWPOINT TEMPERATURE (1.0m HEIGHT)
 INSTRUMENT DEW-POINT HYGROMETER (LICL DEW CELL)(6-77)
 UNIT (°C)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-0.3	-4.1	0.0	2.3	8.1	13.9	16.9	21.8	21.3	11.9	16.4	-0.1
2	1.5	1.2	-1.5	7.9	1.7	11.2	12.7	20.9	19.6	14.9	15.3	-0.4
3	0.7	2.0	-4.4	-0.2	10.6	8.7	13.1	21.5	22.4	15.0	14.1	-0.4
4	-1.8	-3.1	-1.7	2.8	16.5	8.2	16.1	22.1	19.5	13.4	8.7	3.1
5	1.0	-5.8	-5.7	2.1	8.9	13.2	22.3	22.6	18.8	13.5	8.0	8.6
6	1.1	-6.9	-1.2	5.3	3.0	16.2	23.7	25.3	20.9	13.1	11.6	-0.7
7	-1.0	-6.0	-6.6	7.7	11.0	20.0	23.1	22.7	22.7	9.9	10.8	1.1
8	-4.3	-4.9	-0.5	4.5	7.5	16.3	22.4	21.7	21.9	11.1	9.4	2.9
9	-6.5	-5.4	-6.0	5.5	13.7	14.0	22.9	21.4	17.7	14.4	8.5	2.8
10	-4.0	-5.9	0.9	6.0	16.0	17.8	22.0	22.2	16.5	14.3	9.1	5.0
11	7.8	-2.1	6.7	6.9	14.6	15.3	20.0	19.6	16.6	15.3	13.1	4.0
12	-4.5	-1.6	2.3	6.7	9.3	17.2	19.1	20.3	16.5	16.3	14.8	3.3
13	-0.5	-2.5	-0.7	4.5	15.4	15.9	20.1	22.1	19.3	14.8	5.9	2.6
14	-0.1	1.0	-1.5	7.6	15.6	12.9	19.3	21.4	19.5	9.9	8.2	-0.3
15	-0.0	-4.1	2.1	5.4	11.2	15.3	20.7	15.5	12.6	8.1	3.6	3.7
16	0.6	6.7	1.6	6.3	15.7	11.9	22.2	16.9	11.0	***	5.8	3.7
17	-4.1	-3.8	7.7	6.6	16.3	14.5	22.9	19.9	16.6	***	4.6	-2.6
18	0.1	7.9	7.3	7.1	14.1	18.2	20.9	23.2	19.0	***	7.0	1.6
19	0.8	0.8	2.4	13.4	13.9	17.8	21.6	23.4	19.7	12.8	10.0	3.2
20	0.6	1.9	0.4	10.1	13.3	21.9	23.4	18.7	20.6	15.3	6.5	4.5
21	1.3	4.6	0.3	1.0	12.5	22.3	22.7	18.8	20.9	12.7	7.1	3.6
22	-4.4	7.9	1.6	12.0	8.0	26.6	20.2	17.0	14.5	12.2	6.2	-2.1
23	-4.3	-1.3	7.3	6.9	9.8	19.3	21.1	16.8	17.4	10.3	4.9	-4.7
24	-4.7	-2.0	2.3	0.8	11.3	26.6	23.2	20.4	17.4	7.3	5.3	-3.3
25	-6.1	-0.2	6.7	-1.0	10.3	22.2	23.2	17.8	19.4	11.1	2.6	-1.4
26	-7.0	-1.2	1.8	5.1	13.9	16.1	22.6	18.5	16.5	11.4	3.4	-3.2
27	-4.2	-6.9	-1.4	13.8	16.8	17.3	22.5	18.8	15.9	5.1	2.0	-2.8
28	-5.4	-1.0	-0.5	9.4	16.3	19.5	22.5	16.3	16.7	2.6	2.0	-4.0
29	-3.1	3.8	5.7	4.1	16.5	21.1	23.6	17.2	17.0	5.5	2.2	6.1
30	-0.4	-	10.2	7.7	19.3	21.6	24.0	21.5	16.7	9.6	1.3	-2.9
31	1.6	-1.3	-	-	20.8	-	23.2	23.3	-	15.3	-	-1.4
MEAN	-4.0	-2.1	0.7	6.2	12.9	16.8	21.0	20.2	18.3	11.7	7.9	0.0

ITEM INSTRUMENT UNIT YEAR	DEWPOINT TEMPERATURE (17.3m HEIGHT)											
	DEW-POINT HYGROMETER (LICL DEW CELL)(E 77)											
	(°C) 2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-0.1	-4.2	0.0	2.0	7.7	13.9	16.3	21.3	21.1	13.7	16.6	1.7
2	1.3	1.2	-1.3	7.7	3.3	19.5	11.9	20.8	19.5	15.6	15.3	0.7
3	0.4	2.9	-5.8	-0.5	10.5	7.5	12.6	31.8	19.3	16.3	14.1	0.7
4	-1.8	-3.5	-1.9	2.9	35.9	7.4	15.7	22.3	20.2	18.7	8.7	3.6
5	1.1	6.1	-5.9	1.9	9.4	12.6	22.3	22.6	19.7	14.3	8.8	8.7
6	-0.9	7.1	-1.4	5.2	7.6	13.4	21.7	23.7	21.7	14.2	12.7	-0.6
7	-3.2	7.1	-9.8	7.7	10.6	20.0	21.9	23.6	23.2	12.3	11.1	2.1
8	-6.6	-4.2	10.0	4.3	6.4	18.6	22.2	21.5	21.5	13.0	6.5	4.2
9	-6.9	-5.5	-6.1	5.3	13.3	14.0	22.6	21.4	17.4	15.6	10.2	3.1
10	-4.2	-5.9	1.0	6.3	16.1	18.0	22.0	22.2	18.3	15.0	10.6	5.2
11	-8.0	-1.8	6.2	8.9	14.0	15.3	20.0	18.0	16.5	15.4	13.0	5.0
12	-4.6	-1.6	2.3	8.7	8.1	17.1	19.2	20.6	18.3	17.6	15.3	3.4
13	-0.8	-2.1	0.0	4.6	14.2	16.1	20.0	22.3	19.1	15.9	5.0	2.9
14	0.3	1.8	-1.5	7.5	15.3	12.4	19.3	21.4	19.7	10.4	7.8	0.0
15	0.2	4.3	2.1	5.9	10.7	12.6	20.9	16.6	12.8	9.6	10.0	3.6
16	0.0	-0.8	3.6	3.8	16.2	11.2	22.1	17.2	12.8	***	7.0	4.0
17	-5.4	-3.9	7.8	6.7	16.3	14.4	22.7	20.3	17.6	***	8.4	-2.7
18	-3.2	8.2	7.2	2.2	13.8	17.1	20.0	21.3	20.1	***	7.7	1.9
19	1.1	-1.0	-2.0	11.7	13.8	17.2	20.5	21.4	19.7	12.6	11.4	1.6
20	-0.2	3.8	0.6	9.7	13.4	13.6	21.8	17.4	21.3	15.3	6.5	4.6
21	1.9	4.4	0.4	2.1	12.7	22.3	21.4	16.1	21.2	12.9	7.9	1.6
22	-8.4	8.0	1.4	11.8	9.6	20.0	19.7	17.1	20.7	13.3	6.6	-2.1
23	-9.8	-1.6	2.1	9.0	10.1	18.5	20.8	17.3	18.0	10.0	6.6	-5.0
24	-5.8	-2.1	2.2	0.6	10.9	28.5	24.1	20.8	18.1	6.8	6.3	-3.3
25	-6.3	-0.2	6.6	-1.3	10.0	22.4	23.1	17.7	20.4	11.3	3.7	-0.9
26	-7.2	-1.2	1.5	4.9	13.4	13.1	21.7	18.4	17.4	11.4	4.1	-1.2
27	-4.3	-6.8	-1.8	13.4	16.6	17.6	22.3	19.2	17.3	3.5	3.2	-2.4
28	-5.3	-0.7	-6.6	9.2	15.9	19.5	22.5	16.8	17.5	3.3	2.5	-4.0
29	-3.1	3.9	5.3	4.0	16.1	20.0	23.9	18.0	18.1	8.1	2.9	0.3
30	-0.5		9.9	7.4	18.9	23.6	24.2	22.3	18.8	9.9	2.8	-2.9
31	3.6		7.9		26.8		21.2	23.4		15.5		-1.1
MEAN	-4.1	-2.3	0.5	6.1	12.6	16.5	20.8	20.3	18.7	12.4	8.6	1.0

ITEM INSTRUMENT UNIT YEAR	DEWPOINT TEMPERATURE (29.5m HEIGHT)											
	DEW-POINT HYGROMETER (LICL DEW CELL)(E 77)											
	(°C) 2004											
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-0.9	-4.7	-0.4	1.4	7.1	13.2	15.7	20.7	20.5	12.6	16.1	1.4
2	0.4	0.6	-1.7	7.1	2.7	9.5	11.3	20.1	18.9	15.3	14.8	0.0
3	0.0	2.5	-6.4	-1.0	0.9	6.6	12.0	21.1	17.7	15.5	13.6	0.2
4	-2.1	-4.0	-2.4	2.3	15.3	8.6	15.1	21.6	19.4	13.9	8.1	2.9
5	-1.3	0.5	-6.3	1.4	7.8	12.4	21.7	21.9	18.7	14.0	8.3	8.2
6	-1.2	-7.5	-3.9	8.8	7.0	17.7	23.1	22.6	21.0	13.6	12.4	-1.2
7	-3.9	-7.8	-10.3	7.3	10.1	19.2	21.4	22.3	22.6	12.6	10.8	1.6
8	-6.4	-4.4	-10.4	3.7	5.9	15.3	21.6	20.9	21.1	12.2	9.0	3.6
9	-7.3	-5.0	-6.4	4.9	12.5	13.3	22.2	20.9	16.8	15.1	8.8	2.6
10	-4.7	-6.2	0.6	8.8	15.1	17.3	21.2	21.6	17.6	14.4	10.3	5.9
11	-6.4	-3.0	5.9	6.3	13.5	14.4	19.3	18.4	15.6	15.6	13.2	4.3
12	-6.1	-1.7	1.8	8.4	7.3	16.4	18.4	19.9	15.7	16.9	14.6	2.7
13	-1.2	-2.7	0.0	4.0	13.4	15.3	19.3	21.7	18.5	15.0	4.4	2.3
14	-9.7	1.3	-1.9	0.9	14.6	11.8	18.4	20.7	18.2	9.6	7.2	-0.6
15	-9.5	-4.6	1.7	4.9	10.1	12.6	20.4	15.6	12.1	8.1	6.2	3.1
16	-6.5	-7.2	3.2	6.3	18.1	10.6	21.4	16.6	12.3	***	5.9	3.4
17	-5.9	-4.2	7.5	6.3	17.6	13.7	21.9	19.5	17.0	***	6.2	-3.3
18	-3.5	-8.6	6.8	6.7	13.2	17.1	19.1	22.7	19.6	***	7.1	1.4
19	1.1	-1.3	-8.3	13.2	18.1	16.6	22.6	22.6	19.2	12.8	10.6	1.2
20	-2.6	1.4	-6.1	9.1	22.7	21.0	21.1	16.6	20.5	14.9	8.8	4.3
21	-1.0	4.6	-0.9	1.7	21.7	21.7	20.7	15.4	20.7	12.6	7.7	-2.1
22	-8.7	8.1	0.6	11.3	6.4	19.5	19.6	18.8	18.9	11.2	6.7	-2.8
23	-10.2	-3.1	1.8	6.3	9.4	17.8	20.2	16.4	17.3	9.7	6.4	-5.6
24	-6.3	-3.7	1.6	0.0	10.4	19.7	22.5	20.0	17.3	6.2	5.5	-3.8
25	-6.8	-0.6	5.9	-1.9	9.4	21.5	22.4	17.0	20.6	10.9	3.0	-3.3
26	-7.5	-1.4	0.9	4.3	12.9	17.4	21.0	17.6	16.2	10.7	3.4	-1.6
27	-4.6	-7.3	-2.3	12.8	16.0	16.9	21.6	18.4	16.3	2.9	1.6	-3.2
28	-5.6	-1.0	-1.0	8.5	15.4	18.5	21.7	15.9	16.8	2.7	1.9	-4.5
29	-3.4	3.5	-5.1	3.3	15.6	20.2	23.1	17.1	17.3	5.7	3.2	0.0
30	-0.8		9.3	7.0	18.4	20.5	23.4	21.4	18.4	9.5	2.5	-3.5
31	3.8		7.4		22.3		22.3			14.8		-1.7
MEAN	-4.4	-2.5	0.1	5.5	12.0	15.9	20.1	19.6	18.1	11.8	8.9	0.5

ITEM PRECIPITATION (0.3m HEIGHT)
 INSTRUMENT RAIN GAUGE (TRIPPING BUCKET TYPE)(R-011.00)
 UNIT (mm)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0
2	0.0	4.5	0.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.5	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	7.0	1.0	0.0	0.0	0.0	44.5	3.0	0.0	3.5
5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	10.0	60.0	0.0	20.0
6	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	9.5	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	10.0	39.0	5.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	3.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.5	0.0	0.0	0.5	120.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	0.0	0.0	0.0	3.0	0.5	0.0
12	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	14.0	30.5	1.8
13	1.5	0.0	0.0	0.0	1.0	15.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0
14	0.5	0.0	0.0	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.5	86.5	0.0	0.5	23.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	18.5	0.0
19	7.5	0.0	0.0	0.0	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	71.5	10.0	0.0
20	0.0	0.0	30.5	10.5	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	130.0	-2.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	9.5	0.0	0.0	0.0	17.5	0.5	0.0
22	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.5	0.0	0.0	0.0
23	0.0	7.5	1.0	0.0	-2.5	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	2.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.5	0.5	2.5	15.5	19.5	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	1.5	17.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	12.0	15.0	0.0	0.0	0.0
30	1.0	-	37.5	0.0	0.0	2.5	30.5	1.0	11.0	19.5	0.0	7.5
31	0.0	-	22.0	-	3.5	-	17.0	8.5	-	35.5	-	6.0
MEAN	7.0	13.5	113.5	59.5	210.0	92.5	166.5	33.5	162.5	537.5	91.0	93.5

ITEM EVAPOTRANSPIRATION (0.00m HEIGHT)
 INSTRUMENT WEIGHING LYSIMETER (R-15TFA)
 UNIT (mm)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.8	0.5	-0.1	10.5	1.7	-14.5	3.5	11.5	5.0	10.7	0.9	1.7
2	0.7	-4.4	0.0	-18.0	1.2	3.4	-20.7	3.1	5.2	5.8	7.0	0.0
3	0.6	0.1	0.2	10.2	0.3	3.3	3.2	-27.0	-29.1	-6.1	5.5	1.0
4	0.7	1.1	3.5	-0.0	0.5	3.0	3.6	3.9	24.8	-13.5	4.8	-3.6
5	0.6	0.5	0.4	5.0	-5.9	3.5	1.3	3.1	20.7	7.0	28.0	8.5
6	0.6	0.3	0.0	3.4	1.4	-3.3	2.3	3.1	27.2	-5.2	-2.3	4.2
7	0.5	0.5	0.4	0.0	1.0	-5.0	-40.1	-3.7	-24.3	9.3	3.3	3.0
8	0.6	0.3	0.0	-6.5	2.0	-2.7	3.6	3.0	6.6	-22.2	1.8	3.0
9	0.7	0.4	0.3	2.5	0.6	0.5	3.6	3.0	3.3	15.5	1.7	2.4
10	0.4	-0.4	-44.1	0.0	-0.6	1.5	2.9	3.0	2.0	-4.5	1.5	-10.3
11	0.7	0.1	0.0	2.3	3.5	-11.7	3.0	2.5	2.9	5.4	0.2	1.0
12	-0.4	0.4	0.1	2.4	1.8	-1.4	2.5	2.7	3.0	-7.0	5.4	-0.0
13	-1.0	0.4	0.5	4.0	-3.3	24.0	-20.5	2.5	2.5	-2.5	5.7	-2.1
14	0.8	0.4	0.4	-1.7	0.2	-23.3	2.0	2.3	2.6	9.7	3.0	1.1
15	0.6	-0.5	0.3	2.7	2.6	7.4	2.9	-7.2	2.6	6.2	-16.1	1.2
16	0.4	0.4	0.1	-23.0	-21.5	5.0	0.1	3.2	-29.6	3.0	9.2	1.1
17	0.3	0.5	0.4	4.9	-30.4	3.5	3.1	2.0	6.0	4.2	6.1	1.4
18	0.4	0.5	-0.0	1.6	2.7	3.0	1.2	1.3	1.0	-28.0	-13.0	0.7
19	-2.2	0.3	1.2	0.2	15.0	1.0	2.0	4.0	2.0	13.0	-4.4	1.1
20	0.9	0.2	13.7	-0.0	-14.0	3.3	4.1	-20.6	1.1	0.0	0.0	0.0
21	0.1	-0.0	1.3	2.0	-6.9	7.3	3.5	3.0	7.7	-22.0	-6.1	1.3
22	0.4	-0.0	-5.3	1.7	17.2	4.8	3.2	3.0	0.0	13.1	5.0	0.7
23	0.4	-4.7	-1.0	4.3	3.0	3.4	-20.0	-8.1	-24.3	7.3	1.5	0.0
24	0.2	0.4	-0.2	1.5	-0.4	-20.0	3.2	1.5	27.3	4.8	1.7	0.7
25	0.5	0.5	-0.0	1.8	5.0	27.3	3.1	2.2	-7.0	-30.0	-29.5	0.5
26	0.3	0.5	-2.0	1.6	4.3	-24.0	1.9	-0.2	-6.8	22.2	1.0	0.0
27	0.3	0.4	2.0	-3.0	3.3	1.0	3.2	-0.3	-0.0	3.0	1.1	0.0
28	0.3	0.3	2.0	0.0	-12.0	24.0	0.1	1.1	11.7	3.4	1.5	0.0
29	0.3	0.1	2.1	3.1	3.5	2.0	-0.0	21.4	-7.8	3.0	1.1	-14.0
30	-0.7	-	-23.7	0.0	3.0	-4.0	6.2	0.7	3.4	66.1	1.0	2.2
31	0.0	-	22.0	-	0.0	-	0.7	-4.2	-	11.0	-	21.0
MEAN	10.2	-0.1	-50.0	13.4	5.9	-0.3	-07.3	0.6	-11.0	-12.1	3.7	16.3

ITEM ATMOSPHERIC PRESSURE (1.5m HEIGHT)
 INSTRUMENT BARMETER (PTB710)
 UNIT (hPa)
 YEAR 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1012	1018	1009	1017	1018	1018	1005	1013	1005	1015	1007	1025
2	1011	***	1009	***	1027	1018	1001	1011	1009	1011	1008	1030
3	1012	1000	1011	1011	1016	1018	1006	1011	1014	1015	1011	1029
4	1021	1004	1005	1018	1001	1017	1008	1013	***	1007	1015	1013
5	1023	1006	1014	1015	1010	1014	1007	1013	***	***	1019	1017
6	1021	1012	1006	1018	1009	1013	1007	1011	1012	1000	1016	1017
7	1025	1013	1019	1009	1014	1007	1006	1009	1006	1010	1020	1022
8	1016	1016	1020	1010	1028	1009	1007	1006	1002	***	1026	1021
9	1024	1019	1017	1013	1017	1011	1008	1007	1014	***	1026	1021
10	1017	1025	1019	1014	***	1012	1004	1006	1019	1010	1029	1021
11	1015	1021	1000	1011	1002	1016	1002	1007	1024	1011	1021	1022
12	1018	1016	1014	1022	1012	1008	1008	1008	1024	1011	1010	1025
13	1002	1020	1015	1016	1006	1019	1004	1006	1019	1010	1019	1017
14	1008	1005	1010	1013	1000	1013	1011	1005	1012	1012	1018	1025
15	1014	1001	1018	1011	1018	1012	1011	1000	1021	1016	1008	1021
16	1020	1014	1022	1003	1008	1017	1008	1010	1022	1019	1014	1010
17	1020	1006	1016	1007	1004	1016	1001	1013	1018	1023	1021	1018
18	1019	1013	1012	1018	1007	1013	1003	1008	1010	1020	1023	1016
19	1008	1018	1020	1013	1008	1011	1006	1006	1013	1019	***	1020
20	1010	1027	1020	***	1005	1008	1006	1002	1014	***	***	1017
21	1007	1027	1021	1006	***	1007	1006	1011	1010	1000	1015	1011
22	1001	1006	***	1001	1006	1008	1008	1015	1011	1014	1022	1006
23	1007	1009	1018	1008	1009	1004	1004	1018	1017	1020	1027	1000
24	1008	1017	1019	1008	1007	1004	1007	1000	1020	1019	1025	1017
25	1009	1010	1014	1014	1011	1002	1008	1007	1018	1021	1024	1014
26	1014	1006	1021	1015	1018	1022	1012	1000	1017	1013	1018	1010
27	1009	1011	1018	1009	1020	1009	1013	1010	1014	1018	1007	1011
28	1009	1017	1022	1008	1016	1006	1011	1014	1014	1028	1013	1026
29	1011	1006	1021	1011	1009	1004	1010	1014	1014	1030	1015	***
30	1012	-	***	1013	1010	1004	1013	1008	1003	1025	1019	***
31	1015	-	-	-	1006	-	1017	1006	-	***	-	***
MEAN	1013	1012	1015	1010	1011	1010	1006	1009	1014	1011	1018	1019

水理実験センター報告，陸域環境研究センター報告の WWWでの公開について

Opening to the Public
of the Bulletin of the Environmental Research Center
and the Bulletin of the Terrestrial Environment Research Center,
University of Tsukuba on Internet WWW Server

目代 邦康*・塩澤 暁子**

Kuniyasu MOKUDAI* and Akiko SHIOZAWA**

I はじめに

筑波大学陸域環境研究センターは、その前身である水理実験センターの設立時から、毎年継続して紀要を発行し、その研究成果を公表してきた。水理実験センター時代には、筑波大学水理実験センター報告を24号まで発行した。陸域環境研究センターに改組された後は、体裁は以前のままで、雑誌名を筑波大学陸域環境研究センター報告と改め、号数も改め、現在まで5号発行している。また、英文紀要として Environmental Research Center, Papers を17号発行している。これらの紀要は、発行部数も限られておりサーキュレーションが悪い一方で、引用される機会も多く、日本のみならず海外からの問い合わせが多数ある。また、近年、国内外の学術雑誌の電子化とWWWでの公開、さらにはセルフアーカイビングや機関レポジトリの普及といったオープンアクセスの進展など、論文の流通様式を取り巻く状況が大きく変化しつつある（たとえば、高木，2004；尾身ほ

か，2005；中野，2005；nature publishing group, 2005）。このような現状を鑑み、筆者らは陸域環境研究センターが研究成果公開のために設置しているWWWサーバーに、過去の水理実験センター報告、陸域環境研究センター報告（以下、センター報告と呼ぶ）を電子化して公開する作業を進めてきた。本稿では、その内容について説明する。

II 公開に向けての準備

公開にあたり、問題となるのは著作権の所在である。1994年12月発行の水理実験センター報告19号より、著作権が水理実験センターにあることが明示されている。そのため、それらはそのままPDFにして公開した。それ以前のものについては、著作者全員に郵便で問い合わせを行い、電子化と公開に関する承諾を取った。この際、著作権の譲渡は求めている。著作権処理の手続きに関しては、国立情報学研究所（2002）を参考にした。

* 独立行政法人 産業技術総合研究所

** 元 筑波大学陸域環境研究センター

電子化にあたり、ファイル形式は、Adobe 社が開発した文章表示用のファイル形式である PDF とした。電子化された書類のフォーマットとしてはデファクトスタンダードであり、閲覧用のソフトウェアが容易に入手できるためである。過去のセンター報告を解体し、スキャナーで読み込み、論文ごとのファイルを作製し、PDF を製作した。

III WWW での公開

センター報告が PDF 化される以前には、過去のセンター報告の目次は、インターネット上では一部しか公開されていなかった。そのため、目次の HTML 化を最初に行い、そこから各論文の PDF ヘリリンクを張った(第1図)。その URL は、http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/new/publication/bull_terc.html である。今後、変更される場合もあるが、その場合は、陸域環境研究センターのホームページからリンクをたどっていけばアクセ

スできる。

過去の論文の著者やタイトルがウェブサイトに掲載されたことで、<http://www.google.co.jp> などの検索サイトから、論文を検索することも可能となった。現在、印刷所に入稿した原稿は、紙の冊子体と PDF ファイルとなって納品されている。その PDF は陸域環境研究センターのウェブサイトで即時公開されている。

IV 今後の課題

研究論文がどれだけの人に読まれているかは、論文の価値を測る上で重要な要素である。紙媒体の論文は、引用回数などで流通の程度を追跡することは可能であるが、どれだけの人に読まれているかは知ることはできない。しかし、サーバー上のファイルのダウンロード回数は可算で、その数値から過去の研究内容を再評価することが可能になると思われる。

今回の作業でスキャンニングされた論文は、



第1図 公開されているセンター報告の目次

画像として PDF になっている。そのため論文中に含まれる語句で検索をすることはできない。これらのファイルから、OCR ソフトをつかってテキストファイルを作成し、画像ファイルとともに PDF を作製することで、より詳しい検索が可能となる。今後、過去のセンター報告をより流通させるために、この作業が必要であろう。

論文の電子化を行ったとき、論文間をリンクで結ぶことによってその利便性が向上する。センター報告には、保有している大型施設を利用した研究が多く掲載される。これらの研究は、それまでの研究成果や技術の蓄積を利用した研究が多い。WWW 上で、過去の論文にリンクを張ることにより、その研究の継続性や技術の進歩を容易に閲覧できるようになる。今後取り組むべき作業であろう。

現在、すべての論文が著者から公開の承諾を取ってはいない状況なので、全論文の公開には至っていない。今後、継続して公開の承諾をとる作業を続け、より有益なデータベースとなることが期待される。

文献

- 尾身朝子・時実象一・山崎 匠 (2005)：研究助成機関とオープンアクセス－NIH パブリックアクセスポリシーに関して。情報管理，**48**，133-143.
- 国立情報学研究所 (2002)：研究紀要公開のための著作権処理手引き。国立情報学研究所。
<http://www.nii.ac.jp/nels/copyright.pdf>
- 高木和子 (2004)：世界に広がる機関レポジトリ：現状と諸問題。情報管理，**47**，806-817.
- 中野明彦 (2005)：学会誌の電子ジャーナル化から冊子体の廃止まで－日本細胞生物学会 Cell Structure and Function 誌の場合。情報管理，**48**，1-6.
- nature publishing group (2005): NPG library News. <http://www.natureasia.com/japan/institutions/new-14.php>

2004 年度 陸域環境研究センターセミナーの記録

- 2004.4.23 第 71 回セミナー 参加者 40 名
渡来 靖 (筑波大学陸域環境研究センター)
「ブロッキング高気圧発生時のエネルギー解析」
濱田洋平 (筑波大学陸域環境研究センター)
「土壌有機物の炭素安定同位体比から見た、筑波台地における植生・土地利用の変遷」
- 2004.5.7 第 72 回セミナー 参加者 14 名
布川雅典 (専修大学北海道短大環境システム科)
「ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*) の河床材料固定」
菊池俊一 (北海道大学大学院農学研究科)
「石ころとバイカモー動的河床環境とバイカモ個体群動態の関係」
目代邦康 (筑波大学陸域環境研究センター)
「河床形状に及ぼす植生の影響に関する大型水路実験」
- 2004.6.26 第 73 回セミナー 参加者 35 名
守屋以智雄 (金城大学)
「日本と世界の火山地形」
- 2004.9.8 第 74 回セミナー 参加者 14 名
開発一郎 (広島大学総合科学部)
「地球観測サミット地球観測 10 年水循環とその周辺の話」
- 2004.10.22 第 75 回セミナー 参加者 18 名
濱田洋平 (筑波大学陸域環境研究センター)
「霞ヶ浦の水文・水質環境－現在の調査・観測体制と研究の動向－」
- 2004.12.10 第 76 回セミナー 参加者 20 名
樋口篤志 (名古屋大学地球水循環研究センター)
「2000 - 2003 での TERC 実験圃場草地 (TGF) での簡易 PAR 法による植生モニタリングの解析結果、および他の地上計測の現状について」
西田顕郎 (筑波大学生命環境科学研究科)
「多波長分光指標による草地植生モニタリング手法」
小林義和 (農業環境技術研究所, フラックス変動評価チーム)
「永久凍土地域のタイガ及び森林攪乱地の水・熱収支特性－森林攪乱後の変遷を実測データから考える－」
- 2004.12.23 第 77 回セミナー 参加者 19 名
大手信人 (京都大学大学院農学研究科)
「森林生態系の物質循環における水文過程の役割について」

- 2005.1.20 第 79 回セミナー 参加者 22 名
Jessica Lacy (米国地質研究所, USA)
Complex Bathymetry and Estuarine Hydrodynamics
Dave Rubin (米国地質研究所, USA)
Sediment Restoration Experiments in the Grand Canyon
- 2005.1.27 第 78 回セミナー 参加者 22 名
Roy C. Sidle (京都大学防災研究所地盤災害研究部門)
Erosion and Landslide Processes in Mountainous Terrain of Southeast Asia:
Effects of Land Use
- 2005.2.24 第 80 回セミナー 参加者 18 名
近藤純正 (東北大学)
「温暖化問題と都市気温－観測所のありかた」
- 2005.3.4 - 5 第 81 回セミナー(実験観察会) 参加者 180 名
池田 宏 (筑波大学陸域環境研究センター)
「地形環境を見る目を実験で磨こう」
- 2005.3.8 第 82 回セミナー 参加者 14 名
笠井美青 (CSIRO Land and Water, Australia)
「山地河川の地形変化と大型実験水路による現象解明の可能性」
関口智寛 (愛媛大学沿岸環境科学研究センター)
「水理条件の変化による特徴的地形パターンの形成に関する実験的研究：
ウェーブ・リップルを例に」
- 2005.3.22 - 23 第 83 回セミナー(巡検) 参加者 28 名
池田 宏 (筑波大学陸域環境研究センター)
小林洋二 (筑波大学)
岡崎浩子 (千葉県立中央博物館)
「海水準変動に伴う地形変化」

ブロッキング高気圧発生時の エネルギー解析

渡来 靖*

ブロッキング高気圧は持続性・停滞性があり、周辺に異常な寒暑乾湿をもたらす。しかし、ブロッキング発生メカニズムの解明は、天気予報の改善にもつながる重要な問題である。ブロッキング高気圧の特徴の一つとして、背の高い高気圧（順圧的な構造）であることが挙げられる。さらに、ブロッキングの形成時には、傾圧不安定により発達する総観規模擾乱が大きく貢献するとの先行研究は多い。すなわち、傾圧成分から順圧成分へのエネルギーの流れが、ブロッキング形成に寄与している可能性が示唆される。

そこで本研究では、鉛直平均（順圧成分）と鉛直シア（傾圧成分）に分けた運動エネルギーの収支という手法を用いて、ブロッキングが発生する場合としない場合でどのような違いが見られるかを比較検討した。

北太平洋域で冬期に発生するブロッキングを客観的手法により抽出し、さらに運動エネルギーの傾圧成分から順圧成分への変換の大きさと分類すると、傾圧→順圧変換が大きいほど南北スケールの大きなブロッキングへと発達する一方、変換が小さいとブロッキングにならないことが分かった。また、ブロッキングへと発達する場合、発生時のリッジ域で、順圧成分の力学的エネルギー（運動エネルギーと位置エネルギーの和）フラックスが収束しており、その領域での順圧運動エネルギー増加に寄与している。一方、リッジが成長するが停滞せず、ブロッキングには成長せずに衰退するような事例では、リッジ域での順圧成分の力学的エネルギーフラックスは発散していることが分かった。リッジ域での力学的エネルギーフラックス収束が、リッジをブロッキングへと発達させる条件の一つである可能性が示唆された。

* 筑波大学陸域環境研究センター

土壤有機物の 炭素安定同位体比から見た、 筑波台地における 植生・土地利用の変遷

濱田 洋平*

土壤有機物の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) は、その場所に成立した植生からの長期にわたる有機物供給の影響を受ける。このため林地土壌の $\delta^{13}\text{C}$ は一般に、C3 植物である樹木の $\delta^{13}\text{C}$ に近い -30% 前後の値を示す。陸域環境研究センターに南接するアカマツ林は、学園都市成立以前の筑波台地における典型的な土地利用形態の 1 つであるが、土壤有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は $-20 \sim -22\%$ という値を示した。この理由として、筑波台地における土地利用の歴史が考えられる。学園都市の立地以前、この地域では切り替え畑と呼ばれる、数年おきに林を拓いて畑にする農法が行われており、作物や堆肥から樹木とは異なる $\delta^{13}\text{C}$ を持つ有機物が供給された。また、この地域でアカマツの植林が盛んになったのは明治以降であり、それ以前はまぐさや茅葺き屋根の材料として広大なススキ (C4 植物; $\delta^{13}\text{C} = -10\%$ 前後) の草原が人為的に維持されていた。さらに、このアカマツ林を含む黒ボク土壌の成因として、縄文時代に遡る人為的な植生改変の影響が指摘されている。このような長期的な土地利用の変遷の結果、アカマツ林土壌の $\delta^{13}\text{C}$ は C3 と C4 の中間的な値を持つに至ったと予想される。なお、この土壤有機物の現在の炭素循環に対する寄与を評価するため、土壤空気中の CO_2 の濃度と $\delta^{13}\text{C}$ を測定し、キーリングプロットからその発生源の $\delta^{13}\text{C}$ の値を推定したところ、 -27.8% という結果が得られた。したがって、現在の土壌中の炭素循環は、主に現生植生である樹木およびそこから供給された新鮮な有機物によって行われており、長期的に形成されてきた C3 と C4 の中間的な値を持つ古い有機物の寄与は小さいことが示された。

* 筑波大学陸域環境研究センター

(現：筑波大学生命環境科学研究科)

ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*) の 河床材料固定

布川 雅典*

最近になって、河川地形の変化に関して、様々な生物作用も重要であることが知られてきた。例えば、サケ科魚類の産卵行動 (Kondolf *et al.*, 1993) やザリガニの営巣あるいは攻撃行動 (Statzner *et al.*, 2000) は河床洗掘につながる現象、逆に北アメリカのビーバーが作るダム (Naiman *et al.*, 1986) や水生植物 (Petit, 1990) は、河床礫を堆積あるいは安定させる現象として認識されている。

ところで、我が国の溪流や河川に生息するヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata* Navas 以下ヒゲナガと呼ぶ) の巣網は、河床礫同士を固着することがこれまで数々の研究者によって指摘されてきた。そこで、ヒゲナガによる河床安定性への影響を定量的に把握することを目的として、巣網造巢用の礫 (巣網石: 10-15 cm) とヒゲナガを入れたケージを使って、野外実験を行うことで巣網強度の測定を行った。

その結果、もっとも強い巣網強度を持つ巣網石を持ち上げるためには、巣網のない礫を持ち上げるのに要する力の約 13 倍の力が必要になることが明らかになった。また、もっとも強い巣網がはられた場合では、0.30 m までの大きさの礫に対しては、巣網が礫の安定に寄与していることが推定された。

河道内の水理条件のみならず生物要因も土砂移動に影響を与えていることがわかった。とくに、ヒゲナガの巣網が特定の礫サイズ (0.05 ~ 0.30 m) に対して、限界流速をあげることが明らかになった。また近年、陸域や海域において、生物あるいは生物群集が周囲の物理構造を改変している

ことは知られているが (Jones *et al.*, 1994), 今回の結果から、河川内においても生物による物理環境改変が明らかになった。今後の河川環境の管理保全を考える上で、このような環境改変を考慮することも必要ではないだろうか。

参考文献

- Jones, C. G., Lawton, J. H. and Shachak, M. (1994): Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, **69**, 388-390.
- Kondolf, G. M., Sale, M. J. and Wolman, M. (1993): Modification of fluvial gravel size by spawning salmonids. *Water Resources Research*, **29**, 2265-2274.
- Naiman, R. J., Melillo, J. M. and Hobbie, J. E. (1986): Ecosystem alternation of boreal forest streams by beaver (*Castor Canadensis*). *Ecology*, **67**, 1254-1269.
- Petit, F. (1990): Evaluation of grain shear stresses required to initiate movement of particles in natural rivers, *Earth Surface Processes Landforms*, **15**, 135-148.
- Statzner, B., Fievet, E., Champagne, J. Y., Morel, R. and Heroui, E. (2000): Crayfish as geomorphic agents and ecosystem engineers: Biological behavior affects sand and gravel erosion in experimental streams. *Limnology and Oceanographer*, **45**, 1030-1040.

* 専修大学北海道短期大学環境システム科

石ころとバイカモ —動的河床環境と バイカモ個体群動態の関係—

菊池 俊一*

沈水植物のバイカモ (*Ranunculus nipponicus* var. *submersus*) は全国各地でその生育地を減少させつつあり、北海道 RDB でも希少種とされている。河川流水中に生育するバイカモにとっては河床の動的環境が生育基盤となる。したがって、各地で見られるバイカモ減少の要因のひとつには、河川工事や取水等に伴う水・土砂移動特性の変化があると考えられる。そこで本研究では、バイカモ個体群の生育と、生育基盤である河床の土砂移動現象（河床微地形変化）との関係を探ることを目的とした。

北海道東部の西別川上流域（区間長約 20km）でバイカモが繁茂する区間 A と、その下流でバイカモ現存量の少ない区間 B・C の計 3 調査区間を設け、2002 年 7～11 月にバイカモと河床微地形及び土砂に関する調査を行った。その結果、次のような結論を得た。

区間 A のバイカモ個体群周辺では、その存在によって水流が弱まるため、河床付近を移動する土砂がパッチ下側に滞留してマウンド（微凸形）が形成される。土砂の堆積によってシュートが埋もれると、埋没部分から側根を持った不定根が発生し、植物体が河床に固定される。埋もれた茎は各節からシュートと根系を伸ばしながら成長するが、この伸長シュートが堆積土砂に埋もれて河床に固定されることを繰り返しながら個体群サイズを拡大していくと推察された。

一方、区間 B・C では土砂が滞留するような河床環境は限定的であり、マウンドが発達しにくい。そのため、流水中のシュートは土砂に埋もれず、河床に固定されない。そのため、個体群サイズは一時

的に拡大しても、攪乱（出水）等によって流失しやすいと考えられた。

今後、河川生態系の管理・保全を考えていく際には、生物そのものだけではなく、生育場の水や土砂の流れ等の動的な河川物理環境と、それに依存あるいは適応して生育する生物を合わせて保全していくことが必須である。

* 北海道大学大学院農学研究科

河床形状に及ぼす植生の影響 に関する大型水路実験

目代 邦康*

洪水や増水によって、大きく変化する河川か溪流の河道周辺の水辺には、河畔林あるいは水辺林とよばれる森林植生が分布する。地形変化と植生立地は、同一空間を共有するため、多くの相互作用があり、これまで、その生育環境や配列がしばしば地形との関連で議論されてきた。これまでのほとんどの河川地形に関する水路実験では、無植生の状態で実験が行われてきたため、河道形成プロセスにおける植生の働きは、十分評価されているとはいえない。そこで、河川変動における植生の役割を評価することを目的とし、大型水路の河床に植生を繁茂させ通水実験を行い、河床形状の変化を観察した。実験は、陸域環境研究センターの鋼製大型水路で行った。実験の結果、植生区間の河床に特徴的な河床形状が見られた。植生の密集している場所（植生体）の下流側に砂が堆積するものと、植生体の上流側に礫が堆積するものである。また、水路の下流に直線的な河道が現れた。植生は、流れの障害となり河道形状に影響を与える場合と、流れをスムーズにして河道形状に影響を与える場合とがある。植生体は、流れの障害となり砂礫の平面的分級を起こすことがわかった。今回の実験では、植生が繁茂したのち、通水をおこなったが、実際の河川では、洪水と植生の繁茂は、異なる時間スケールであるが、繰り返し起こっている現象である。実際の河川の動態を理解するためには、このような自然界の条件を取り込んだ実験をする必要があると思われる。

地球観測サミット地球観測 10 年 水循環とその周辺の話

開発 一郎*

2003年6月のG8エヴィアンサミットにおいて「全地球観測のための国際協力強化」が合意され、7月に米国ワシントンで第1回地球観測サミット(Integrated Earth Observation Summit)の開催が実現し、2004年12月には欧州にて閣僚級会合が開催され、今後10年間の地球観測計画について、それぞれ枠組み、実行計画が採択された。枠組み文書では複数システムから構成される全地球観測システム(GEOSS: Global Earth Observation System of Systems)が定義され、ベルギーの第3回地球観測サミットにGEOSS実施計画参照文書が提出され、採択された。GEO(地球観測に関する政府間作業部会)の枠組み案検討のために、総合科学技術会議から文部科学省研究開発局に10年実施計画策定のための地球観測国際戦略策定準備室が設置され、その検討会が組織された。地球観測10年の対象課題は「災害、健康、エネルギー、気候、水、天気、生態系、農業、生物多様性」であり、全地球観測システム(GEOSS)の今後10年の地上水循環観測のロードマップについて本検討会で議論された。具体的には、2年目標の「アジア・オーストラリアモンスーンでの高機能地上水循環観測ネットワークの整備(特に土壌水分、植物水分、水蒸気、河川流量)・計画・構築(既存サイトを基本とするスーパーサイトネットワークの構築)」他、6年目標の「全球高機能地上水循環観測ネットワークの実験」他、10年目標の「地上水循環研究観測から業務地上観測への移行準備と実際」他である。

* 産業技術総合研究所
(元：筑波大学陸域環境研究センター)

* 広島大学総合科学部

霞ヶ浦の水文・水質環境 —現在の調査・観測体制と研究の動向—

濱田 洋平*

霞ヶ浦は、琵琶湖に次いで日本第二位の湖沼面積を持ち、その流域面積は茨城県の35%を占めている。水文・水資源・水産業・水害など、様々な分野における重要性のため、霞ヶ浦およびその流域では様々な調査・モニタリングが行われてきており、インターネットで公開されているものもある。水の量的側面に関するものとして、霞ヶ浦河川事務所が提供している霞ヶ浦リアルタイム情報 (<http://www.kasumigaura.go.jp/scripts/real/>) がある。このサイトでは、湖内および流入出河川沿いに設置された観測地点における水位や流量、水温や電気伝導度などの簡易水質、降水量や風向・風速などの気象データをリアルタイムに参照することができる。一方、水質に関しては、国立環境研究所（国環研）が提供する霞ヶ浦データベース (<http://www-cger2.nies.go.jp/gems/database/kasumi/>) がある。これは、国環研において行われてきた霞ヶ浦研究の成果を取りまとめたもので、CD-ROM版も配布されている。現在の国環研の観測体制としては月1回の全域調査があり、調査船を出して湖内10地点で各種観測やサンプリングが行われている。国環研における霞ヶ浦研究の中心は、湖沼環境研究室とそれに所属する臨湖実験施設である。この研究室では、様々な汚染対策にも拘わらず各地の湖沼で増加傾向にある難分解性溶存有機物を対象とした研究を行っている。これまでにその成分を分離する手法を確立し、主としてフミン物質と親水性酸からなることを明らかにしたほか、最近では分離した各成分の炭素や窒素の安定同位体比、湖沼内部の3次元流動シミュレーションなどの手法を用いた研究を進めている。

* 筑波大学陸域環境研究センター
(現：筑波大学生命環境科学研究科)

2000-2003 での TERC 実験圃場草地 (TGF) での簡易 PAR 法による 植生モニタリングの解析結果、 および他の地上観測の現状について

樋口 篤志*

日射計と光量子計 (PAR) を同時に計測することにより、バンド幅が広いながらも可視光・そのほかの波長域の反射率に換算することができ (以下簡易 PAR 法)、連続計測で植生モニタリングを行えるようになった。演者らは1999年4月末より PGLIERC (樋口ほか, 2000; Nishida *et al.*, 2001) の計測項目の一環として、現在まで TERC 実験圃場草地 (TGF) にて上記計測を継続し、既に4年強のデータの蓄積がある。ここでは特に長期モニタリングによって得られた年々変動、および衛星ベースで開発が進んでいる生育期間 (GSL) 同定アルゴリズムの結果との違いに着目した解析結果を紹介した。結果を要約すると以下の通りとなる。

- ・簡易 PAR 法で植生モニタリングを行い、2000-2003 年のデータの解析を行った。下向き要素 (下向き PAR) はセンサー劣化が著しいため、こまめな校正・メンテナンスが必要であるが、上向き成分のみでも植生指標の算出は可能である。
- ・NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SR (Simple Ratio) 共に草地の生育をモニタリングしているように見えるが、少なくとも本方法での NDVI 時系列は草の減衰期 (秋~冬) を過大評価しているように見える。
- ・年々変動を見ると温暖年、乾燥年等様々な要因があり、現地観測結果 (LAI, biomass) と本方法の年々変動特性の間には定性的でも一致は認められなかった。本手法で得られた指標を絶対値として年々変動の議論に使うのは危険である。
- ・本発表で提示した Phenology Index (PI) は草

* 名古屋大学地球水循環研究センター (現：千葉大学環境リモートセンシング研究センター)

地の生長ステージ同定の可能性を示し、より詳細な解析が必要とされるが、蒸発比 (IE/Qn) の季節変化特性と良い一致を示した。

植生の減衰期モニタリングに関しては、そのメカニズムが生長期とは異なるため、他の指標（波長のより細かい情報 [Hyper-spectral]）を用いる必要があると思われる。

多波長分光指標による 草地植生モニタリング手法

西田 顕郎*・土田 聡**・
川戸 渉***

植生の季節変化とそのタイミングの同定は、植生の生態機能の指標として重要であり、陸面過程や炭素収支の季節変化・年間総量を決定づける要因であるばかりでなく、気候変動の地域的影響を示す指標ともなり、また、植生分類の有力な手がかりでもある。しかしながら、リモートセンシングを前提とした分光学的な手法で植生季節変化を観測すると秋の黄葉・落葉・枯死のプロセスがうまく把握できないことが、従来、問題になっていた。そこで、本研究では、筑波大学陸域環境研究センター (TERC) の草地圃場を対象にして、草原植生 (C3/C4 混合草原) の季節変化とそのタイミングの同定を、いくつかの性質の異なる指標を用いることで試みた。晩夏から初秋にかけての開花・出穂・黄葉については、葉緑素に感度のある指標 (SIPI と赤/青)、中秋の落葉・枯死は水分に感度のある指標、そして、晩秋以降の分解・乾燥化には、セルロース・リグニン指標 (CAI) に、それぞれ注目した。その結果、季節変化のいくつかの重要な段階はこのような複数指標の組み合わせで同定できる可能性があることがわかった。今後はこれらを、水分や色素などの実測データで検証していく必要がある。

* 筑波大学生命環境科学研究科

** 産業技術総合研究所

*** 筑波大学環境科学研究科

永久凍土地域のタイガ及び 森林攪乱地の水・熱収支特性 —森林攪乱後の変遷を実測データから考える—

小林 義和*・岩花 剛**・
町村 尚***・福田 正己**

永久凍土帯に広がるシベリアタイガは、地球環境変動の予測・制御において重要な役割を担っている。近年、シベリアタイガでは、頻発する火災や伐採によって森林攪乱が進行しており、これまで維持されてきた“永久凍土-タイガ生態系”の水・熱バランスの崩壊が危惧されている。そこで、森林攪乱が“永久凍土-タイガ生態系”へ及ぼす影響を理解するために、東シベリア・ヤクーツク近郊のカラマツ林、12年前の森林火災跡地、森林伐採地を中心に、3年間に渡り水・熱収支項目を実測した。伐採地は、カラマツ林と比べて水・熱環境が一変した。特に、潜熱フラックスが著しく低下し、逆に地中熱流量は大きく増加した。潜熱フラックスの減少は、伐採により植生からの蒸散が無くなったこと、及び地表面粗度の減少が主な原因と考えられた。潜熱フラックスの減少に対応して、伐採地の土壌水分は森林と比較して高い値で推移した。地中熱流量の増加は、凍土の融解深を増加させると予測されたが、伐採2年目以降、伐採地とカラマツ林の最大融解深に明確な差は現れなかった。これは、伐採地で観測された高い地中熱流量が、冬場に凍結した高水分土壌の融解に分配されるためであることがわかった。伐採3年目になると、草本植生の回復が進み、攪乱地の水・熱収支パターンは森林のそれへと回歸するような変遷を示した。火災から12年を経た火災跡地は、白樺と草本が優占する植生であった。この観測点で得られた潜熱フラックスはカラマツ林のそれと同程度のものであり、他の熱収支

項目は伐採地とカラマツ林の中間的な値を示していた。以上の観測結果から、森林攪乱により凍土の大規模融解が生じるためには、攪乱とあわせて別の要因があると考察された。観測地近隣で、融解深が周辺と比較して明らかに深い場所において熱収支に関する簡易観測とボーリング調査を行った。その結果、当該地は春先から夏場にかけて湛水面がより長い期間に渡って存在し、アルベドが低く正味放射量が比較的高いことがわかった。また、比較的浅い深度に地下水が分布していた。一連の観測・調査結果から、森林攪乱直後の地表面状態及び地下水の分布状態が、攪乱地におけるその後の変遷を左右する要因の一つであると考察した。

* 農業環境技術研究所

** 北海道大学低温科学研究所

*** 大阪大学工学研究科

Complex Bathymetry and Estuarine Hydrodynamics

Jessica Lacy *

The hydrodynamics of estuaries are largely governed by longitudinal forces: the salinity gradient from river to ocean and the slope in water surface elevation produced by the tides. As a consequence, most conceptual models treat estuaries as long and narrow. Suisun Bay, in northern San Francisco Bay, does not fit this model, as it is comprised of broad shallows, islands, and channels. The shallow subembayments of Suisun Bay provide important habitat to juvenile fishes, and construction of additional tidal shallows has been proposed to restore habitat. How does the complex bathymetry of the area influence local hydrodynamics? I will discuss circulation within the shallows and the influence of shallows on the hydrodynamics of Suisun Bay, based on data collected in the shallow subembayment of Honker Bay and adjoining channels. Transects of velocity and density from two channels show that cross-channel differential advection can produce lateral density gradients that drive strong secondary circulation. In the first channel, which is curved, centrifugal forcing and lateral baroclinic forcing each dominate the transverse momentum balance at different points in the tidal cycle. In a second channel, the cross-channel migration of a shear front produced by the confluence of waters from shallows and a channel is controlled by turbulent mixing. At this site, cross-channel baroclinic forcing is responsible for the onset of stratification. These results show

that large-scale bathymetric complexity can be more important to lateral dynamics than the local geometry of the channel cross-section. Complex bathymetry affects longitudinal as well as lateral dynamics, because transverse currents and lateral gradients in momentum produce lateral advection of along-channel momentum.

* 米国地質研究所, USA

Sediment Restoration Experiments in the Grand Canyon

Dave Rubin *

For three decades, sediment researchers have wondered if operations of Glen Canyon Dam could be altered to maintain downstream sand resources in Grand Canyon. Before managed floods were proposed to conserve sand below the dam, researchers concluded that erosion of sandbars was inevitable. In contrast, the operational strategy for sandbar maintenance since 1996, has been based on two hypotheses: first, much of the sand introduced by tributaries downstream from the dam can accumulate in the channel over multiple years under operations associated with average-to-below average hydrology; and second, controlled floods can move that accumulated sand from the channel bed to shorelines, thereby rebuilding bars in a sustainable manner. Recent work has shown that the first hypothesis is false. High resolution data for the ecosystem sand mass balance between 1999 and 2004, indicate no accumulation of tributary sand inputs in the main channel. Sandbar data also indicate that erosion has not been mitigated by re-operation strategies since 1991. If a successful flow strategy can not be devised, then managers may have to choose between abandoning sandbar restoration objectives, or adding sediment downstream from the dam.

温暖化問題と都市気温 －観測所のありかた

近藤 純正 *

地上気温の世界平均値は、この 100 年間に 0.6 ~ 1.0℃程度の割合で増加しているといわれている。しかし、こうしたデータの大部分は都市化された観測所で得られたものである。都市化の影響を含まないデータを用いて、より正しい気温変動の実態を知ることが緊急の課題である。

まず、日本について中都市と田舎観測所（アメダスや農業気象観測所）における気温の経年変動を調べ始めた。① 田舎観測所のデータでは、100 年間に 0.2℃程度の上昇傾向である。② 小都市であっても「陽だまり効果」のある観測所では平均気温が高く観測される。③ 積雪地域の都市では、微風晴天夜に生じる年最低気温の上昇傾向が顕著である。④ 気温上昇量は、大都市ほど大きいですが、年平均風速とともに小さくなる。⑤ 横浜では大震災によって気象台周辺一帯が焼失し約 0.8℃の低下があった。⑥ 最近、気象官署の都市中心部への移転に伴って気温が急上昇する傾向が見られる。⑦ 気象観測所は目的別に、気候変動観測用、天気図・予報用、都市・地域用に合わせて整備すべきだろう。

最後に「温室効果」の基礎的なことについて復習する。

* 米国地質研究所, USA

* 東北大学名誉教授

実験観察会 地形環境を見る目を実験で磨こう

目代 邦康*

池田 宏助教授が2005年3月をもって、筑波大学を退職するのを記念して、2005年3月4日と5日に標記の実験観察会が実施された。陸域環境研究センターの前身である水理実験センター創設以来、地形実験に取り組んでこられた成果を、延べ200名の参加者に披露した。実施した実験は、①応力開放による節理の形成実験（トタン板を筒状にし、その中に岩粉をつめたのち、トタン板をはずし、岩粉塊への割れ目の入り方を見る）、②崩壊による急斜面の形成実験（岩粉の山の一部をふもとからすくい取り、滑落崖をつくる）、③循環型落石実験装置の見学、④ミーマ塚の形成実験、⑤富士山中腹に見られる斜め交錯模様の形成実験、⑥陥没カルデラの形成実験、⑦岩川（岩盤河川）における小滝に関する実験、⑧山川における、残留巨石の影響に関する実験（以上1日目）、⑨大型水路の見学、⑩循環式閉管路による混合効果の実験、⑪侵食河床と堆積河床に関する実験、⑫扇状地と三角州の違いに関する水路実験、三角州の分流に関する実験、⑬造波水槽を用いた、浅海底の縦断勾配に関する実験、⑭アイソスタシーに関する実験（以上2日目）である。3月4日は、早朝より雪が降り、実施が危ぶまれたが、積雪をもともせず屋外にてそれぞれの実験は遂行された。昼食とティーブレイクが、すべてセンタースタッフにより準備された。そのため、この実験観察会に参加した、多数の日本各地の研究者や、水理実験センターOB,OGの交流が盛んに行われ、議論が活発になされた。

水理条件の変化による特徴的地形 パターンの形成に関する実験的研究： ウェーブ・リップルを例に

関口 智寛*

ウェーブリップルマークについての研究は多いが、その発生・発達に関して(1)初期地形と(2)波が引き起こす流体場の非対称性の影響をシステマティックに探求した研究は行われていない。振動流の非対称性は、例えばリップルの伝搬や発生限界に影響を及ぼすことがわかっている。このような背景の下、波浪条件の激変によるリップルマークの変形に関する実験を行った。実験では、事前に形成した初期リップルマークに波を作用させ、その変形過程を観察した。粒径の異なる5種類の淘汰の良い砂を底質として用いた。実験の結果、初期リップルが変形するか否かは、初期リップル波長、軌道直径、流体場の非対称性に依存することが明らかになった。リップルが変形する際には、その過程において特徴的な形状を示す5種類のリップルマークが観察された。それらは(1)二次クレストを持つリップル、(2)円頂型リップル、(3)ブリック型リップル、(4)鱗形リップル、(5)バレル型リップルである。円頂型リップルとブリック型リップルを除き、これらの特徴的リップルは、変形過程で一時的に現れるものであり、最終的には波長の小さいリップルもしくは波長の大きいリップルへと発達した。特徴的形状を示すリップルマークの出現は、初期リップル波長、底質粒径、軌道直径、流体場の非対称性に依存することが明らかになった。(1)二次クレストを持つリップル、バレル型リップル、ブリック型リップルは対称性の良い流体場で、軌道直径の初期リップル波長に対する比が小さいときに形成した。(2)円頂型リップルは非対称な流体場で、軌道直径の初期リップル波長に対する比が小さく、底質

* 産業技術総合研究所
(元：筑波大学陸域環境研究センター)

* 筑波大学陸域環境研究センター
(元：愛媛大学沿岸環境科学研究センター)

粒径が 0.2 mm 以上のときに発達した。(3) 鱗形リップルは軌道直径の初期リップル波長に対する比が大きく、底質粒径が 0.2 mm 以下のときに出現した。さらに、リップルマークの変形、特に二次クレストを持つリップルの発達は、リップルの岸・沖斜面上に発達する渦と密接に関係することが明らかになった。

現地観察会 海水準変動に伴う地形変化

目代 邦康*

池田 宏助教授と、小林洋二助教授の退職を記念して、2005年3月22日から23日まで房総半島をバスで廻る巡検を実施した。案内者は、前述の2先生と、千葉県立中央博物館の岡崎浩子上席研究員である。参加者は30名であった。筑波大学をバスで出発し、途中西千葉駅で千葉・東京在住の参加者と合流し、木更津の干潟に向かった。干潟の堆積物など観察したあと、下総台地の地層の観察を行った。そこから鹿野山、鋸山の丘陵地形を見て、嶺岡の地すべり地を観察した。そこから、宿泊先の天津小湊の東京大学科学の森教育研究センターに向かった。ここでは、夕食後日付が変わるまでセミナーが行われた。翌日は、小櫃川上流の平滑な岩盤河床を観察し、河川地形の発達過程について活発な議論が行われた。そこから海岸に出て、千葉大学の海洋生態系研究センターの周辺の磯を歩き、岩石海岸の地形の観察を行った。そこから、バスで、九十九里浜平野を横断し、その形成過程について議論した。

房総半島は広大で、今回の巡検では、観察ポイントが多岐に富んだため、それぞれの場所で十分な見学時間を取ることができなかった。しかし、この巡検の趣旨は、地形学、構造地質学、堆積学など地球科学の様々な分野の研究者が一同に会し、広く深く議論しようというものである。そういった意味では、房総半島の様々な地球科学的現象を取り上げたこのようなバスによる巡検形式は成功したといえるだろう。専門分野が異なる研究者とは、同じフィールドで調査を行っていても議論する機会は少ない。近接分野の研究者との新しい出会いを作るこのような巡検が、今後も企画されることを期待する。

* 産業技術総合研究所
(元：筑波大学陸域環境研究センター)

文献リスト

本文献リストは当センターを利用した研究で、2004年4月から2005年3月までの間に学術誌に発表された論文と、各大学において受理された卒業論文、修士論文、博士論文のリストである。

一般研究論文

- 青木 久・大島智洋・若狭 幸・八反地 剛・松倉公憲 (2004)：日南海岸いるか岬の波食棚地形に関する予察的研究：波食棚構成岩石の強度と含水比の測定。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 63-71.
- 浅沼 順・上米良秀行・陸 旻皎 (2004)：我が国におけるパン蒸発量の長期変動と水循環変動との関わり。天気, **51**, 667-678.
- 飯塚幸子・山中 勤・田中 正 (2004)：安定同位体分析のための植物体からの水の抽出について—ポット試験による検討—。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 81-86.
- 井岡聖一郎・野原大輔・田中 正・浅沼 順・山中 勤 (2004)：陸域環境研究センターにおける地下水位長期観測データについて。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 99-101.
- 井上忠雄・仲田伸也・寺島 司・木村富士男 (2004)：写真観測と衛星で捉えた都市に出現する対流雲。天気, **51**, 653-654.
- 漆原和子・神谷振一郎 (2004)：水路実験によるスカラップの形成環境。法政地理, **36**, 41-50.
- 岡崎浩子・池田 宏・目代邦康・飯島英夫 (2004)：更新統ギルバート型三角州前置層の形成過程推定のための基礎実験。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 41-50.
- 開発一郎・山中 勤・池淵周一・小尻利治 (2004)：半乾燥地域平地での広域地下水涵養—モンゴル高原での観測結果解析—。京都大学防災研究所年報, **47号B**, 863-869.
- 川瀬宏明・木村富士男 (2004)：冬の日本列島南海上に見られる筋状雲の出現特性。地理学評論, **78**, 147-159.
- 北村彩子・泉 岳樹・松山 洋 (2004)：地表面熱収支から推定した地表面温度および地上気温観測地と衛星ランドサットの観測輝度温度の関係。地学雑誌, **113**, 495-511.
- 古賀聡子・恩田裕一・飯島英夫 (2004)：長期浮遊砂サンプリングのための簡易サンプラーの実験的検証。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 109-114.
- 齊藤 誠・浅沼 順 (2004)：陸域環境研究センター熱収支・水収支観測圃場におけるフラックスデータシステム間比較と信頼性。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 87-97.
- 下田星児・莫 文紅・村山昌平・高村近子・及川武久 (2004)：渦相関法と大気炭素安定同位体手法による夜間生態系呼吸量の細分化。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 21-28.
- 鈴木和美・山中 勤 (2004)：Palmer Drought Severity Index (PDSI) を用いたモンゴルの旱魃の解析。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 3-12.
- 須田知誠・若月 強・松浦俊也・松倉公憲 (2004)：丹沢山地における地震と豪雨による崩壊の地質的・地形的特徴：特に崩壊の規模と斜面傾斜について。筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 51-61.
- 玉川一郎・田中賢治・石田祐宣・樋口篤志・松島

- 大・浅沼 順・小野圭介・多田 毅・林 泰一・石川裕彦・田中広樹・檜山哲哉・岩田徹・田中健路・中北英一・CAPS 観測グループ (2004) : 琵琶湖プロジェクト 2002 年フラックス面的集中観測 (Catch A Plume by SATs : CAPS) : その概要, 水文・水資源学会誌, **17**, 392-400.
- 辻村真貴・安部 豊 (2005) : 名水を訪ねて (68) モンゴル・ヘルレン川の地下水. 地下水学会誌, **47**, 129-135.
- 綱川明芳・山中 勤 (2005) : 安定同位体分析のための大気水蒸気サンプリング手法の信頼性. 水文・水資源学会誌, **18**, 306-309.
- 濱田洋平・藪崎志穂・田瀬則雄・谷山一郎 (2004) : 田面水の酸素・水素安定同位体比とそれに及ぼす蒸発の影響. 日本水文科学会誌, **34**, 209-216.
- 藪崎志穂・田瀬則雄 (2004) : 台風到来時の降水の酸素・水素安定同位体比の変動特性. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 29-39.
- 山中 勤・福島武彦・小寺浩二 (2004) : 水との共生に係わる思想的・社会的背景と研究動向 : 環境共生科学としての水文学の再構築へむけて. 日本水文科学会誌, **34**, 111-124.
- 山中 勤・三谷克之輔・小野寺真一・開発一郎 (2005) : 瀬戸内圏の貧栄養牧草地における水・熱・物質収支. 地理学評論, **78**, 113-125.
- 横山智子・莫 文紅・及川武久 (2004) : 陸域環境研究センター圃場における 2003 年の C3/C4 混生草原の LAI と地上部バイオマスの季節変化. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 119-128.
- 李 載錫・及川武久 (2004) : 草原群落の遷移段階による土壌有機物量の違いについて. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 115-118.
- 劉 建軍・莫 文紅・高村近子・及川武久 (2004) : 陸域環境研究センター圃場における C3/C4 混生草原の地下部バイオマスと成長量の季節変化. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 13-20.
- 若月 強・佐々木良宜・松倉公憲 (2004) : 異なる測定法によるマサ土の透水性指標の比較. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 103-107.
- 若本実希・山中 勤 (2004) : 降水分取器内部での蒸発に伴う試水の同位体濃縮について. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 73-79.
- Aoki, I., Kurosaki, Y., Osada, R., Sato, T. and Kimura, F. (2005): Dust storms generated by mesoscale cold fronts in the Tarim Basin, Northwest China. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L06807 10.1029/2004GL021776.
- Hamada, Y., Iida, S. and Tanaka, T. (2004): Diurnal change of soil water potential during prolonged drying processes. In Sidle, R.C. et al. eds. *Forest and Water in Warm, Humid Asia, DPRI, Kyoto Univ.*, 103-106.
- Iida, S., Tanaka, T. and Sugita, M. (2004): Change of stemflow generation due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. *Ann. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, **30**, 15-20.
- Iida, S., Tanaka, T. and Sugita, M. (2004): The change of transpiration and interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. In Sidle, R. C. et al. eds. *Forest and Water in Warm, Humid Asia, DPRI, Kyoto Univ.*, 41-44.
- Kaihotsu, I., Yamanaka, T. and Koike, T. (2005) : Current activities of the AMPEX AMSR/AMSR-E studies. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, Bull. TERC*, **5 Suppl.**, 1-2.
- Kaihotsu, I., Yamanaka, T., Koike, T., Oyunbaatar,

- D. and Davaa, G. (2005) : Ground-based observations for the ADEOS II/AQUA validation in the Mongolian Plateau. *Ground Truth for Evaluation of Soil Moisture and Geophysical/Vegetation Parameters Related to Ground Surface Conditions with AMSR and GLI in the Mongolian Plateau*, Japan Aerospace Exploration Agency, 5-21.
- Kusaka, H. and Kimura, F. (2004): Thermal Effect of Urban Canyon Structure on the Nocturnal Heat Island: Numerical Experiment using a Mesoscale Model Coupled with an Urban Canopy Model. *J. Appl. Meteor.*, **43**, 1899-1910.
- Li, S., Lai, C., Lee, G., Shimoda, S., Yokoyama, T., Higuchi, A. and Oikawa, T. (2005): Evapotranspiration from a wet temperate grassland and its sensitivity to microenvironmental variables. *Hydrological Processes*, **19**, 517-532.
- Onda, Y., Tsujimura, M. and Tabuchi, H. (2004): The role of subsurface water flow paths on hillslope hydrological processes, landslides and landform development in steep mountains of Japan. *Hydrological Processes*, **18**, 637-650.
- Sasaki, T., Wu, P., Mori, S., Hamada, J.-I., Tauhid, Y. I., Yamanaka, M. D., Sribimawati, T., Yoshikane, T. and Kimura, F. (2004): Vertical moisture transport above the mixed layer around the mountains in western Sumatra. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L019730, doi:10.1029/2004GL019730.
- Sato, T. and Kimura, F. (2005): Impact of diabatic heating over the Tibetan plateau on subsidence over Northeast Asian arid region. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L05809, doi:10.1029/2004GL022089.
- Shanningrahi, A. S., Fukushima, T. and Ozaki, N. (2005): Comparison of different methods for measuring dry deposition fluxes of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the ambient air. *Atmospheric Environment*, **39**, 653-662.
- Subagyono, K. and Tanaka, T. (2004): Calcium(Ca²⁺) deterioration under the subsurface runoff in Kawakami forested head water catchment, central Japan. In Sidle, R.C. *et al.* eds. *Forest and Water in Warm, Humid Asia*, DPRI, Kyoto Univ., 154-157.
- Suzuki, R., Hiyama, T., Asanuma, J. and Ohata, T. (2004): Land surface identification near Yakutsk in eastern Siberia using video images taken from a hedgehopping aircraft. *International Journal of Remote Sensing*, **25**, 4015-4028.
- Tanaka, H. L., Watarai, Y. and Kanda, T. (2004): Energy spectrum proportional to the squared phase speed of Rossby modes in the general circulation of the atmosphere. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L13109, doi:10.1029/2004GL019826.
- Tanaka, T., Abe, Y. and Tsujimura, M. (2005): Groundwater recharge process in the Kherlen river basin, eastern Mongolia. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia*, Bull. TERC, **5 Suppl.**, 12-15.
- Tanaka, T., Iida, S., Kakubari, J. and Hamada, Y. (2004): Evidence of infiltration phenomena due to the stemflow-induced water. *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, **30**, 9-14.
- Tanaka, T., Mori, M., Tsujimura, M., Hamada, Y., Subagyono, K. and Iida, S. (2004): Relationship between mean residence time of stream water and wetness condition in a forested headwater catchment, central Japan. In Sidle, R. C. *et al.* eds. *Forest and Water in Warm, Humid Asia*, DPRI, Kyoto Univ., 115-118.
- Tsujimura, M., Davaa, G., Kamimera, H., Abe, Y., Higuchi, S., Tanaka, T. and Shimada, J. (2004):

- Budget analysis on groundwater and river water interaction in Kherlen River Basin, eastern Mongolia. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, Bull.TERC*, **5 Suppl.**, 10-11.
- Tsujimura, M., Sasaki, L., Yamanaka, T. and Li, S. (2004): Hydrological processes in Kherlen River Basin revealed by isotope tracer approaches. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, Bull.TERC*, **5 Suppl.**, 70-71.
- Wang, Y., Leung, L. R., McGregor, J. L., Lee, D.-K., Wang, W.-C., Ding, Y. and Kimura, F. (2004): Regional climate modeling: Progress, Challenges, and Prospects. *J. Meteor. Soc. Japan.*, **82**, 1599-1628.
- Watarai, Y. and Tanaka, H. L. (2004): Local energetics analysis of blocking formation in the North Pacific decomposed in vertical mean and sheared flows. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 1447-1458.
- Watarai, Y. and Tanaka, H. L. (2004): Local energetics analysis of blocking formation in the North Pacific decomposed in vertical mean and sheared flows. *5th international workshop on global change: Connection to the Arctic (GCCA5)*, 95-98.
- Watarai, Y. and Tanaka H. L. (2005): Comparison of blocking versus non-blocking using the local energetics of kinetic energy divided in vertical mean and sheared flows. *Science Reports of Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section A (Geographical Sciences)*, **26**, 13-25.
- Yamanaka, T., Iizuka, S. and Tanaka, T. (2004) : An isotope-ecohydrological study on water use strategy of plants in a suburban secondary forest. *EOS Trans. AGU*, **85** (28), *West. Pac. Geophys. Meet. Suppl.*, Abstract B12A-05.
- Yamanaka, T., Kaihotsu, I., Oyunbaatar, D. and Ganbold, T. (2005): Evaluation of water and energy exchanges between the Mongolian grassland and the atmosphere using AMPEX-AWS dataset. *Ground Truth for Evaluation of Soil Moisture and Geophysical/Vegetation Parameters Related to Ground Surface Conditions with AMSR and GLI in the Mongolian Plateau*, Japan Aerospace Exploration Agency, 23-32.
- Yamanaka, T., Shimada, J., Hamada, Y., Tanaka, T., Yang, Y., Wanjun, Z. and Chunsheng, H. (2004) : Hydrogen and oxygen isotopes in precipitation in the northern part of the North China Plain: Climatology and inter-storm variability. *Hydrological Processes*, **18**, 2211-2222.
- Yamanaka, T., Tsujimura, M., Oyunbaatar, D. and Davaa, G. (2005) : Isotopic variation of precipitation over eastern Mongolia. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, Bull.TERC*, **5 Suppl.**, 46-47.
- Yamanaka, T., Tsujimura, M., Oyunbaatar, D. and Davaa, G. (2005) : Regional scale variability of the surface soil moisture revealed by the AMPEX monitoring network. *Ground Truth for Evaluation of Soil Moisture and Geophysical/Vegetation Parameters Related to Ground Surface Conditions with AMSR and GLI in the Mongolian Plateau*, Japan Aerospace Exploration Agency, 33-42.

博士論文

- Watarai, Yasushi (2004): Local Energetics of Kinetic Energy Divided in the Barotropic and Baroclinic Components during the Formation

of Blocking. 93p. (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

Yabusaki, Shiho (2004): Formation Process of Vertical Profile of Stable Isotopic Compositions in Soil Water. 196p. (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

修士論文

家本 薫 (2005): 非一様植生面上での大口径センチロメーターを用いた地表面熱収支の観測. 52p. (筑波大学大学院環境科学研究科)

伊藤 直 (2005): *Monodiexodina* (松葉石) の産状と堆積環境についての堆積実験的研究. 109p. (筑波大学大学院教育研究科)

浦野弘規 (2005): 流紋岩からなる山地源流域における降雨流出プロセスに果たす基盤岩地下水の役割. 86p. (筑波大学大学院教育研究科)

大原 剛 (2005): 茨城県における砂利・砂・玉石採取業の変化—県北・鹿行地区を事例として—. 58p. (筑波大学大学院教育研究科)

川上貴宏 (2005): 火成岩からなる山地流域における湧水の降雨流出プロセス. 81p. (筑波大学大学院環境科学研究科)

栗下勝臣 (2005): 第四系堆積岩山地における海進・海退に伴う河床縦断形の変化に関する研究. 82p. (立正大学大学院地球環境科学研究科)

増渕 健 (2005): 火成岩からなる山体基盤岩中における間隙空気の挙動. 96p. (筑波大学大学院環境科学研究科)

卒業論文

岩上 翔 (2005): 火成岩からなる山地源流域の降雨流出過程における基盤岩地下水の役割. 75p. (筑波大学第一学群自然学類)

角張順一 (2004): 樹種の違いが地下水涵養プロセスに及ぼす影響. 54p. (筑波大学第一学群自然学類)

河野伸裕 (2005): 富士山, 宝永山周辺の斜面勾配と表面微地形の形成機構. 44p. (筑波大学第一学群自然学類)

清水亮介 (2005): 水蒸気同位体組成の空間分布特性とそのスケール依存性. 56p. (筑波大学第一学群自然学類)

末広伸也 (2005): 落石と乾燥岩屑流による岩盤斜面侵食プロセスに関する実験的研究. 24p. (筑波大学第一学群生物資源学類)

福島興征 (2005): 火成岩山体における湧水・河川水の空間分布特性と地下水流動系の関係. 69p. (筑波大学第一学群自然学類)

矢野伸二郎 (2005): 筑波山斜面における降水の安定同位体比時空間分布形成プロセス. 90p. (筑波大学第一学群自然学類)

涌井久司 (2005): 安定同位体組成からみた那須扇状地の地下水—地表水相互作用. 54p. (筑波大学第一学群自然学類)

平成 16 年度陸域環境研究センター施設利用状況

(平成 17 年 3 月 31 日現在)

	教育関係		研究関係	
学群	地形プロセス学・同実験（自然学類）	30 名×6 回	卒業研究利用者	
	地球科学実験Ⅲ（自然学類）	30 名×2 回	自然学類	5 名
	〃	60 名×2 回	自然学類（工作室のみ）	3 名
	気候学・気象学実験（自然学類）	25 名×3 回		
	〃	20 名×2 回		
	水文学実験（自然学類）	27 名×7 回		
	〃	20 名×3 回		
	流域水文学（自然学類）	4 名×1 回		
	植物生態学実験（生物学類）	14 名×1 回		
水資源利用学実験（生物資源学類）	10 名×5 回			
計測制御工学実験（生物資源学類）	40 名×1 回			
	合計（延）数	832 名	合計（延）数	8 名
大学院	地学教育実験（教育研究科）	8 名×1 回	生命環境科学研究科	8 名
	地域調査法（教育研究科）	10 名×2 回	生命環境科学研究科（工作室のみ）	1 名
	〃	13 名×5 回	環境科学研究科	3 名
	自然地理学特講（教育研究科）	5 名×1 回	環境科学研究科（工作室のみ）	1 名
	実習（環境科学研究科）	30 名×1 回	教育研究科	2 名
	合計（延）数	128 名	合計（延）数	15 名
教職員	学生の指導	57 名	陸域環境研究センター	9 名
			生命環境科学研究科（地球環境科学専攻）	2 名
			農林工学系	1 名
			生物科学系	2 名
			人間総合科学研究科（体育科学専攻）	1 名
	合計（延）数	57 名	合計（延）数	15 名
他大学等			名古屋大学地球水循環研究センター	1 名
			立正大学地球環境科学研究科	1 名
			滋賀県立大学環境科学研究科	1 名
			東邦大学植物生態学研究室	1 名
			国立科学博物館	1 名
			米国地質調査所	28 名
			韓国建国大学生命科学科	1 名
			韓国大邱カンソリック大学	1 名
			エンテック株式会社	50 名
			英弘精機株式会社	2 名
	合計（延）数	0 名	合計（延）数	87 名
その他	研究会・年次報告会	3 回 参加者	131 名	
	セミナー	13 回 参加者	444 名	
	機器の利用		3 名	
	データの利用		5 名	
	見学者			
				258 名
			10 名	
	利用者合計		1,993 名	

主 な 行 事

年 月 日	記 事
2004. 4. 1	渡来 靖準研究員着任
2004. 4.17	科学技術週間・センターの一般公開
2004. 4.27 ~ 28	飯島英夫技術専門職員 有機溶剤作業主任者技能講習受講
2004. 5. 7	筑波大学附属高校見学 (20名)
2004. 6	平成 17 年度概算要求 (研究推進経費、拠点形成経費、特別支援事業経費) 提出
2004. 6	センター利用内規の作成
2004. 6. 7	福島県成蹊高校見学 (46名)
2004. 6. 8	山形県米沢中央高校見学 (30名)
2004. 6.14	平成 16 年度第 1 回運営委員会開催
2004. 6.21	高山茂美名誉教授他見学 (13名)
2004. 6.28	青森県六ヶ所村 (財) 環境科学研究所見学 (1名)
2004. 7.20 ~ 21	データ集録室エアコンの更新工事
2004. 7.27 ~ 28	Web サーバーの更新
2004. 8. 5	長崎県諫早高校見学 (40名)
2004. 8. 6	自然学類体験学習
2004. 8.12	埼玉県浦和第一女子高校見学 (3名)
2004. 9.13 ~ 15	圃場整備 (草刈)
2004.10.13	鳥取県鳥取東高校見学 (11名)
2004.11.9 ~ 11	RAISE 国際ワークショップ本学にて開催
2004.11.11	RAISE 参加モンゴル国研究者見学 (6名)
2004.11.15	平成 18 年度概算要求 (組織整備計画、研究推進経費、特別支援事業経費、施設整備費) 提出
2004.12.16 ~ 17	圃場整備 (草刈)
2005.1.11 ~ 31	米国地質調査所との共同実験
2005.1.26 ~ 28	超音波風向風速計の定期点検実施 (カイジョウ)
2005.2	「陸域環境研究センター報告第 5 号」発行
2005.2	(株) エン・テクとの共同実験
2005. 2.22	チュニジア国研究者 (Ministry Scientific Research) 見学 (1名)
2005.2.24	近藤純正東北大名誉教授及び都立大学教員見学 (3名)
2005.3.3	平成 16 年度陸域環境研究センター年次研究報告会開催
2005.3.4	池田 宏助教授最終講義・実験観察会 (75名) 及び退職記念会
2005.3.5	実験観察会 (105名)
2005.3.8	平成 16 年度第 2 回運営委員会開催
2005.3.22	圃場観測機器の定期点検実施 (クリマテック)
2005.3.22 ~ 23	房総半島巡検
2005.3.31	池田 宏助教授 定年退職
2005.3.31	濱田洋平研究機関研究員 退職 (4月1日付け、及川研プロジェクト PD)
2005.3.31	塩澤暁子研究支援推進員 退職

陸域環境研究センター 熱収支・水収支観測資料について

下記の表は学内外の利用希望者に対する利用できるデータの種類、収録期間、メディアの種類、利用方法を示す。利用希望者は、データ利用願い (<http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/new/use/use.html#4>) を記入の上センター宛提出されたい。

データの種類	収録期間	メディア	利用方法
1時間ごとの全測定項目および、日平値（または日積算）値・日最小値・日最大値が入った月ごとのアスキーファイル	1981年/11月～ 現在	陸域環境研究センターのホームページ	陸域環境研究センターのホームページ (http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/) の TERC 熱収支・水収支観測データベース (http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/hojyo/Japanese/database.html) にアクセスする。 ●月ごとのデータは、(http://hojyo.suiri.tsukuba.ac.jp/hojyo/archives/monthly/) に保存されており、ファイル名のつけ方は次の通りである。Dyy-mm.DAT, yy は年, mm は月を表している。例えば、2002年4月のデータは、D02-04.DAT である。 ●年ごとに圧縮されたデータは、(http://hojyo.suiri.tsukuba.ac.jp/hojyo/archives/yearly/) に保存されている。圧縮形式は lzh 形式または tar + gzip 形式である。
上記データのプリントアウト	1983年/7月～ 2003年/3月	冊子体 (3枚/1日) 一冊/3ヶ月	コピーをとるか (*), 写し取り, 利用する。または貸し出しを行うので (一週間まで) 持ち帰って利用する。
測定項目ごとの1時間ごとのプリントアウト	1989年/1月～ 利用時の1-2年前	冊子体 1枚/1月	同上
各項目の日平均値のプリントアウト	1989年/1月～ 利用時の1-2年前	冊子体 (センター報告) 1ページ/1年	同上
各項目のアナログ出力を記録したチャート	1980年/1月～ 2003年/3月	チャート 一冊/1月	コピーをとるか (*) センター内で読み取る。

(*) センターのコピー機を使う場合、学生用コピーカードを使用し、何枚使用したかを記録用ノートに記入する（教職員の場合は本人あてに、学生の場合は指導教員あてに利用額が後ほどセンターから請求される）。

筑波大学陸域環境研究センター出版物 の著作権について

1. 筑波大学陸域環境研究センター報告等に掲載されたすべての報文等(以下、報文等と称する)の著作権は筑波大学陸域環境研究センター(以下、本センターと称する)に帰属する。
2. 本センターの出版物に掲載された報文等の全部あるいは一部を他の出版物に転載、翻訳、あるいはその他のために利用する場合には、本センターに文書による利用許諾を得た上で、出所明示して利用しなければならない。
3. ただし、学説の展開、および教育目的の著作の中で、本センターの出版物に掲載された報文等の一部を出所明示の上で引用する場合には、前項にかかわらず利用許諾の申請は不要とする。

Analysis of Long-term Evapotranspiration Data Observed by Weighing Lysimeter and Its Quality ControlMakoto SAITO and Tsutomu YAMANAKA	53
Observational Data of Heat Balance and Water Balance -2004-Yasushi WATARAI and Tsutomu YAMANAKA	63
Opening to the Public of the Bulletin of the Environmental Research Center and the Bulletin of the Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba on Internet WWW Server Kuniyasu MOKUDAI and Akiko SHIOZAWA	89
Lecture	93
Literature List	107
Miscellaneous	112

筑波大学陸域環境研究センター報告

第6号

2005年11月発行

編集発行 筑波大学陸域環境研究センター
茨城県つくば市天王台1-1-1
〒305-8577 電話 029-853-2532
FAX 029-853-2530
e-mail jimu@suii.tsukuba.ac.jp
http://www.suii.tsukuba.ac.jp/

© 筑波大学陸域環境研究センター, 2005

印刷所 有限会社 アレス
茨城県つくば市筑穂1-14-2
〒300-3257 電話 029-877-4888

BULLETIN
OF THE
TERRESTRIAL ENVIRONMENT RESEARCH CENTER
THE UNIVERSITY OF TSUKUBA

No.6

November

2005

Contents

Foreword	Tadashi TANAKA	1
The Spatial Structure of Isotopic Composition of Atmospheric Water Vapor at Micrometeorological Scale	Ryosuke SHIMIZU and Tsutomu YAMANAKA	3
A Simple Method to Estimate the Latent Heat Flux by a Sonic Anemometer-thermometer with a Fine Thermometer	Tatsuo HANAFUSA, Takeshi AOSHIMA and Yasushi WATARAI	11
Limestone Pedestals and Denudation Estimates from Kikai-jima, Ryukyu Islands	Yukinori MATSUKURA, Akira MAEKADO, Takashi HIROSE, Hisashi AOKI and Tetsuya KOGURE	17
The Effect of Porosity of Aoshima Sandstone on Rates of Salt Weathering : A Laboratory Experiment	Marie YAMAMOTO, Hisashi AOKI and Yukinori MATSUKURA	23
Non-destructive Measurement of Rock-surface Strength of Weathered Oya Tuff : An Application of Equotip Hardness Tester and Infrared Optical Moisture Meter	Hisashi AOKI, Tomoya SASAKI and Yukinori MATSUKURA	33
Difference in Root System among Co-occurring Plants in a Secondary Pine Forest Undergoing Succession	Tsutomu YAMANAKA, Daigo MATSUO, Midori YANO, Jun'ichi KAKUBARI, Shin'ichi IIDA, Hisashi WAKUI, Ryosuke SHIMIZU and Tadashi TANAKA	39
Consideration for the Estimation Methods of Evapotranspiration at Terrestrial Environment Research Center	Shiho YABUSAKI, Norio TASE and Shigenori HAGINOYA	45



Copyright © Terrestrial Environment Research Center,
The University of Tsukuba, Ibaraki 305-8577 JAPAN, 2005