

筑波大学

陸域環境研究センター報告

第11号
2010

序	田 中 正	1
報 文		
筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林における 樹種構成の長期変化について	林 敦 史	3
	田 中 正	
菅平湿原における地表水の硝酸濃度と土地利用の関係	岩 上 翔	11
	田 中 正	
	呉 羽 正 昭	
	兼 子 純	
	三木田 慎	
研究ノート		
阿武隈山地の野外風化実験サイトにおける風化環境	八反地 剛	21
	秋 山 沙 苗	
	松 倉 公 憲	
可搬型簡易自作強制通風式気温計作成マニュアル	村 上 雅 則	29
	木 村 富士男	
資料		
熱収支・水収支観測資料 -2009年-	鈴 木 智恵子	35
	岩 上 翔	
	山 中 勤	
セミナーの記録		61
論文リスト		65
その他		69

筑波大学陸域環境研究センター

2010年12月

序

『陸域環境研究センター報告 第11号』をお届けします。本11号でとりまとめを行った平成21年度は、旧水理実験センターが改組され、陸域環境研究センターが発足してから10年が経過した節目の年度に当たりました。また、平成16年度からスタートした法人化施行から6年が経過し、法人化第1期中期計画の最終年度を迎えた年でもありました。

この間、本センターでは、「陸域環境研究センター中期計画」(平成13年9月制定)ならびに「同第2期中期計画」(平成16年5月制定)を定め、これら中期計画に沿ってセンターの特色を生かした基礎教育・研究を推進するとともに、外部資金等による国内外共同研究・国際連携事業を継続的に推進してきました。

これらの教育・研究業績の内容は、平成16年度にとりまとめた『筑波大学陸域環境研究センター中期計画中間報告書』(平成12年度～15年度, 47p.)ならびに本年度3月にとりまとめた『筑波大学陸域環境研究センター第2期中期計画報告書』(平成16年度～21年度, 54p.)に記載されています。それによると、センター改組からの10年間において、本センター事業に関連して発表された研究論文数は、国際誌(査読つき)156編、国内誌(査読つき)55編、紀要等その他の論文(査読なし)264編、著書(分担執筆を含む)20件となっています。また、この10年間において、博士論文20件、修士論文88件、卒業論文83件が本センター事業に関連して作成されました。この間における科学研究費等の競争的外部資金の獲得は、代表・分担を含め約1,841,000千円となっています。この10年間において、本センターの教育研究活動にご理解をいただき、ご指導とご支援を賜った関係機関・皆様にご場をお借りして感謝の意を表します。

また、本年度は、法人化第2期中期計画に向けて、平成22年度の概算要求事項「特別経費」として「地球環境再生プログラム:中部山岳地域の環境変動の解明から環境資源再生をめざす大学間連携事業」の申請を行い、その内示を受けることができました。本事業は、菅平高原実験センターおよび農林技術センターと学内連携を行い、かつ筑波大学と信州大学および岐阜大学の3大学が大学間連携を行って平成22年度～26年度の5年継続事業として実施するものであり、陸域環境研究に係わる大型プロジェクトとして、その成果が期待されるものであります。本事業を円滑に推進するため、平成19年度より実施している3大学合同ワークショップを本年度は岐阜大学において開催しました。

センター第2期中期計画の終了を踏まえ、「陸域環境研究センター第3期中期計画」を本年度末に制定しました。本中期計画は、法人化第2期中期目標・中期計画期間内に、本センターの設立趣旨に沿った成果を確実に挙げるとともに、陸域環境に関する教育研究のさらなる発展へ向けた展望を切り開くための礎になるものであります。平成26年度に本センター中期計画の進捗状況を報告するとともに、同27年度にはこの中期計画に沿った教育研究成果のとりまとめを行うことになっております。

この他、昨年度に引き続き概算要求事項特別教育研究経費(研究推進)に係わる戦略的研究プロジェクト「地球温暖化に伴う植生の変化が地下水涵養機構に与える影響に関する研究」、地球環境研究総合推進費「地域気候変動シナリオ作成のための都市効果の評価」、総合地球環境学研究所研究プロジェクト2-4、モンスーンアジア水文気候研究計画(MAHASRI)、Coordinated Energy and Water Cycle Observations Project(CEOP)

等を、関係機関と密接に連携して推進しました。また、国際協力・国際連携プロジェクトとして、日本学術振興会二国間共同研究経費（インドネシアとの共同研究）「湿潤熱帯地域における持続可能な水資源開発のための流域管理」を推進するとともに、国際ワークショップ“Capacity Building for Watershed Management”をインドネシア・ボゴールにおいて開催しました。モンゴル国における「持続可能な地下水管理」に係わる UNESCO Chair を昨年度に引き続き推進するとともに、本学国際連携プロジェクト支援経費の補助を受け、国際ワークショップ「持続可能な地下水資源管理に関する国際戦略：越境帯水層と統合的流域管理」を開催しました。本国際ワークショップは、2008年12月に開催された第63回国連総会において、世界初となる地下水に関する国際法典“Law of Transboundary Aquifers”が採択されたことを踏まえ、また、法典草案の責任者を務められた外務省参与・元国連国際法委員会委員で

ある山田中正大使をお招きして開催したものです。

人事面では、岩上 翔準研究員が6月1日付けで、鈴木智恵子研究員が7月1日付けでそれぞれ着任しました。また、小暮哲也準研究員が他機関への就職のため10月31日付けで退職され、若狭幸準研究員が平成22年2月16日付けで着任しました。木村富士男教授が他機関へ異動のため、また田中 正センター長が定年退職のため共に本年度3月末で退職することになります。

はじめに述べましたように、旧水理実験センターが改組され、陸域環境研究センターが発足してから10年が過ぎました。また、法人化第1期中期計画の6年間が終了しました。関係各位には、これまでにいただきましたご支援・ご厚情に対し心から感謝申し上げますとともに、新たなる時代を迎えるに当たり、本センターの教育研究活動により一層のご理解をいただき、さらなるご指導ご助言を賜れば幸いです。

平成22年3月

陸域環境研究センター長

田 中 正

筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林における 樹種構成の長期変化について

Long-term Change in Composition of Tree Species in the Japanese Red Pine Forest Adjacent
to Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba

林 敦史*・田中 正**

Atsushi HAYASHI* and Tadashi TANAKA**

要 旨

林地の水収支がどのように変化し、将来どのようになるかを予測するためには、林分構造を把握することが必要である。そこで、陸域環境研究センターのアカマツ林において、全ての樹種に対して毎木調査を行い、これまでの研究と比較し樹種構成の長期変化を明らかにすることを目的とした。

毎木調査を行った結果、最も多い個体はシラカシであり、全体の42.3%を占めていた。次にヒサカキ(27.1%)、アカマツ(7.1%)となっていた。また胸高断面積でも、シラカシが最も多くの割合を占めていたことから、アカマツ林からシラカシ林への遷移が進行していることが分かる。またアカマツの立木密度の時系列変化で得られた回帰式から、2020年にはシラカシ林への遷移がほぼ完了すると考えられる。本対象領域の林分構造は、これまでにアカマツが高層木として優占していたが現在ではシラカシが優占し、低層木としてヒサカキが優占している状況である。

1 はじめに

アカマツは我が国でもっともポピュラーな樹種の一つである。アカマツは耐陰性の低い陽樹であるため、下層植生などによって光が入らなくなると枯死する。また、今日では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である常緑広葉樹への遷移が進み始めている。これらの現象は、林分構造を変化させ、林地の水収支にも影響することが考えられる。それゆえ、林

地の水収支がどのように変化し、将来どのようになるかを予測するために、林分構造の変化を把握することが必要である。

これまでに、陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林においては毎木調査が行われてきた(山下・林, 1987; 宇佐美・及川, 1993; 飯田ほか, 2001)。本研究対象地域のアカマツ林は、1980年から下層植生の伐採が中止され、様々な植物が林内へ侵入している。宇佐美・及川(1993)では、シラカシ林への移行は20年以上かかると

* 筑波大学大学院生命環境科学研究科大学院生

** 筑波大学国際部

予測されている。また飯田ほか（2003）では、アカマツの立木密度の時系列変化の回帰式から、2020年頃にはアカマツがほぼ枯死すると推定された。しかしながら、これまでの研究では、アカマツ以外のすべての下層植生を対象とした評価は十分になされていない。したがって、遷移の進行を正確に評価するためにも、すべての樹種に対して毎木調査をする必要がある。

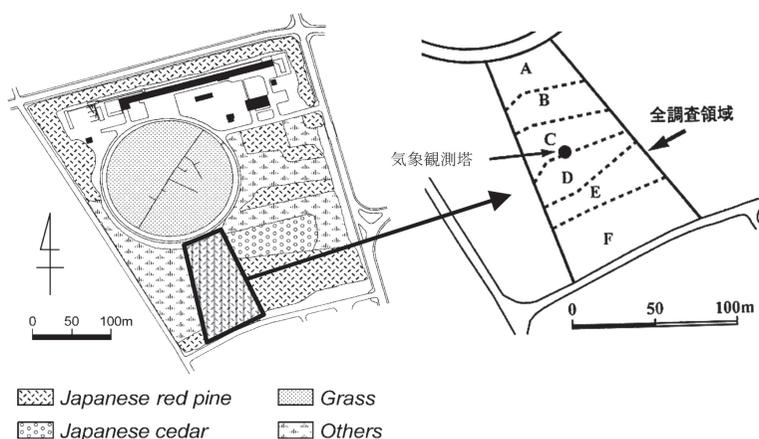
このような観点から、陸域環境研究センターのアカマツ林を対象として、全ての樹種に対して毎木調査を行い、これまでの研究と比較して樹種構成の長期変化を明らかにすることを本研究の目的とした。

II 調査方法

調査対象地域は筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林である。本アカマツ林は前述したとおり、下層植生が侵入している。対象林分を主に構成している樹種としては、アカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. Et Zucc), シラカシ (*Quercus myrsinaefolia* Blume), ヒサカキ (*Eurya japonica* Thunb), コナラ (*Quercus serrata* Thunb) などが存在している。

Sugita (1985) によると、本研究対象林地のアカマツ林の総面積は1.9 haに及ぶが、これまでの調査と比較するために0.9 haの領域（第1図）を対象にして毎木調査を行った。今回の調査では、飯田ほか（2003）との結果を比較するために、樹高が4 m以上のすべての樹木を対象に胸高直径（Diameter at Breast Height, DBH）を測定した。樹木の高さ1.3 m部分を巻き尺で測定した値を胸高周囲長とし、樹幹を円形であると仮定してDBHの算出を行った。測定は2009年の11月から12月にかけて行った。2006年にも領域内の全てのアカマツに対してDBHの測定が行われているので、その結果についても記述する。

飯田ほか（2003）によれば、コドラートを用いて調査を行う場合、樹木の不均一性を考慮するためには、本研究対象地では少なくとも400 m²の範囲が必要である。これまでの研究例では、アカマツ以外の樹種に対して毎木調査したものに宇佐美・及川（1993）が挙げられるが、対象領域が狭く、飯田ほか（2003）や本研究と比較することが難しい。このため、アカマツ以外の樹種に関しては、飯田ほか（2003）の結果を中心に比較を行うことにする。



第1図 調査対象領域

III 結果および考察

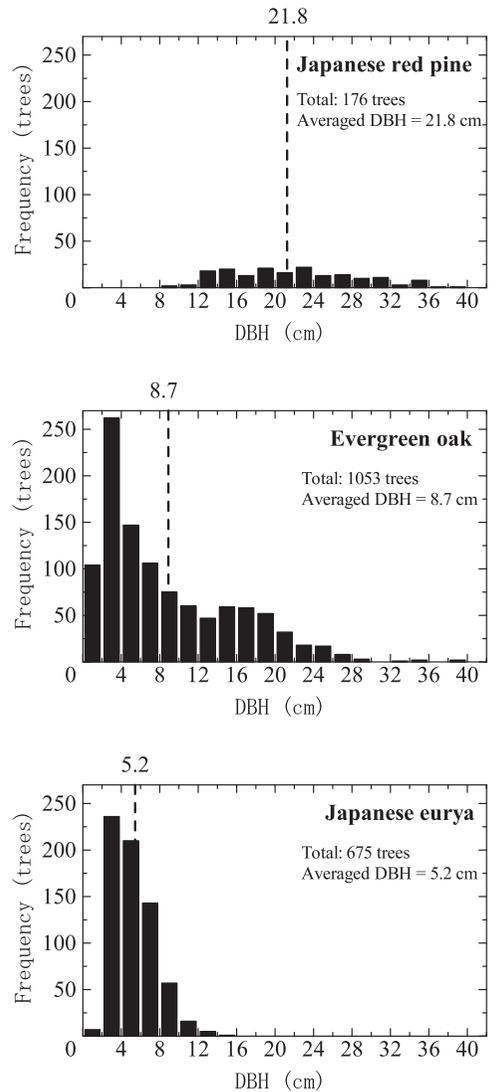
1. 毎木調査の結果

第1表に今回実施した全領域の毎木調査の結果を示す。対象林分のうち、最も多い個体はシラカシであり、全体の42.3%を占めていた。次にヒサカキ(27.1%)、アカマツ(7.1%)となっている。その他にはヤマウルシ(*Rhus trichocarpa* Misq) やコナラ(*Quercus serrata* Thunb) などが含まれる。また胸高断面積の割合でも、シラカシが37.1%と最も高い割合を占め、次いでアカマツ(25.9%)、ヒサカキ(6.1%)となっている。樹種構成の結果から、本アカマツ林はシラカシ林への遷移が進行し、後述するようにその最終段階に達しつつあるものと考えられる。

対象領域でのアカマツ、シラカシ、ヒサカキのDBHのヒストグラムを第2図に示す。アカマツ、シラカシ、ヒサカキのDBHの分布幅はそれぞれ8~40 cm, 0~40 cm, 0~16 cmとなっており、アカマツとシラカシのDBHの分布幅が重なるようになっている。飯田ほか(2003)によると、シラカシのDBHと樹高との間には以下のような相関関係が存在する。

$$H = 0.50DBH + 4.60 \quad (1)$$

ここで H は樹高(m)、 DBH (cm)は胸高直径を表す。また、調査対象領域のアカマツの平均樹高は15 mであると報告されている(飯田ほか, 2003)。したがって、シラカシのDBHが約20 cm以上になると、シラカシの樹高はアカマツの樹冠



第2図 対象全領域におけるアカマツ、シラカシ、ヒサカキの胸高直径のヒストグラム

第1表 対象領域における樹種出現本数と胸高断面積

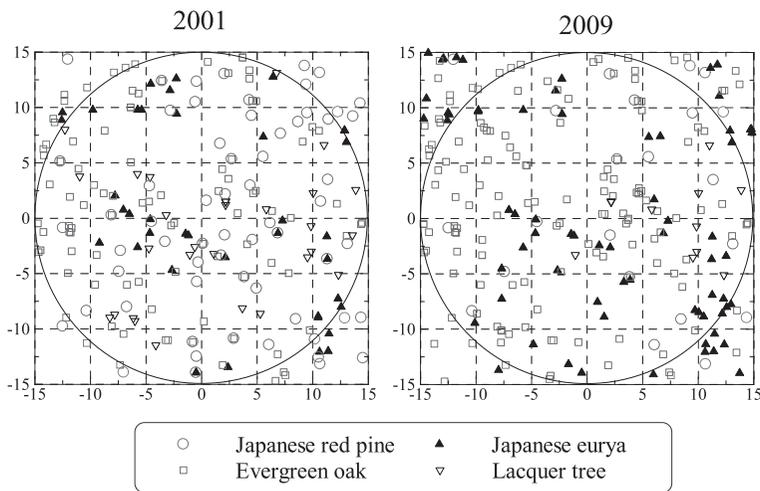
Species	2009			
	Total trees	Percentage	Basal area (cm ²)	Percentage
<i>Pinus densiflora</i>	176	7.1	71694	25.9
<i>Quercus myrsinaefolia</i>	1053	42.3	103000	37.1
<i>Eurya japonica</i>	675	27.1	16978	6.1
Others	586	23.5	85600	30.9
Total	2490	100.0	277272	100.0

に達することになる。本研究では、アカマツ林内に設置された気象観測塔から、シラカシがアカマツの樹冠に達していることを確認した。また、宇佐美・及川（1993）ではこうした状況は2012年に達すると予測されていたが、その予測とほぼ同じような結果となっている。

飯田ほか（2003）では、気象観測塔を中心にアカマツ、シラカシ、ヒサカキ、ヤマウルシの分布状態を明らかにしている。今回の調査でも同じ対象領域において毎木調査を行い、飯田ほか（2003）と比較を行った。第3図は2001年と2009年の各樹種の分布状態を示したものである。この結果からも調査対象領域においてはアカマツ林からシラカシ林への遷移が進行していることが分かる。シ

ラカシとヒサカキの分布状態は非常に不均質であり、1辺5mのコドラートを設定した場合、各コドラート内の分布値は大きく異なる。これはシラカシ、ヒサカキは耐陰性の強い陰樹であるため、樹木が密になる部分が存在するためであると考えられる。アカマツが枯れた部分にはシラカシやヒサカキの分布がまだ見られないため、今後さらにシラカシやヒサカキの本数が増えることが予想される。また第2表は、この領域内での各樹種の出現本数と胸高断面積を示したものである。この領域内では2009年調査時のシラカシの占める割合は58.26%であり、2001年に調査した時よりも高い数値を示した。

第4図は、同領域内でのシラカシとヒサカキの



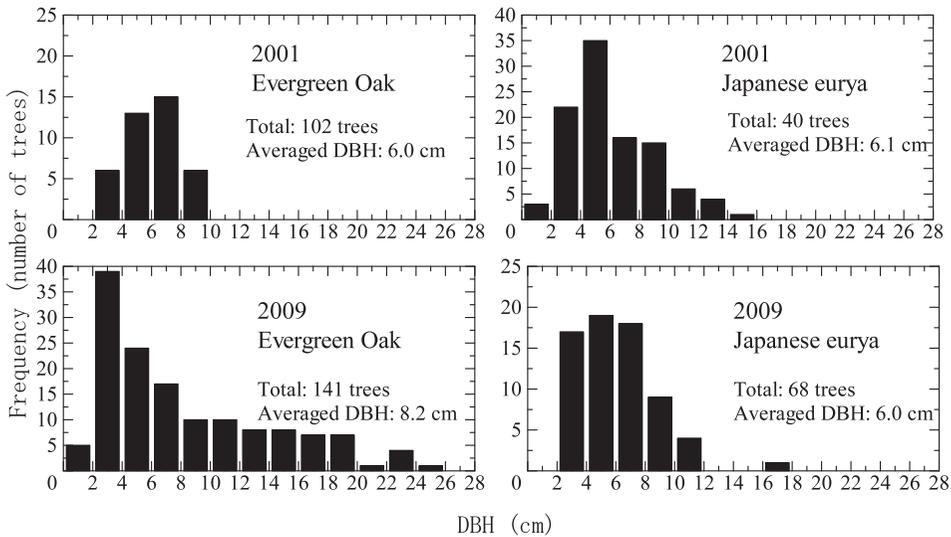
第3図 2001年と2009年の気象観測塔周辺のシラカシとヒサカキの分布

第2表 2001年と2009年における気象観測塔周辺の樹種の出現本数と胸高断面積

Species	2001				2009			
	Total trees	Percentage	Basal area (cm ²)	Percentage	Total trees	Percentage	Basal area (cm ²)	Percentage
<i>Pinus densiflora</i>	65	27.54	18373	76.79	22	9.09	8793	38.46
<i>Quercus myrsinaefolia</i>	102	43.22	3716	15.53	141	58.26	11357	49.68
<i>Eurya japonica</i>	40	16.95	1277	5.34	68	28.10	2356	10.31
<i>Rhus trichocarpa</i>	29	12.29	560	2.34	11	4.55	355	1.55
Total	236	100.00	23926	100.00	242	100.00	22861	100.00

第3表 各調査領域における毎木調査の結果

Field	Area m ²	1999		2006		2009	
		Total trees	Stand density trees/100m ²	Total trees	Stand density trees/100m ²	Total trees	Stand density trees/100m ²
A	1286	52	4.0	22	1.7	19	1.5
B	1090	58	5.3	27	2.5	22	2.0
C	1328	118	8.9	69	5.2	46	3.5
D	1147	92	8.0	44	3.8	33	2.9
E	1322	99	7.5	49	3.7	31	2.3
F	2686	147	5.5	37	1.4	25	0.9



第4図 2001年と2009年における気象観測塔周辺のシラカシとヒサカキの胸高直径のヒストグラムの時系列変化

DBHのヒストグラムの時系列変化を示したものである。2001年ではシラカシのDBHの範囲は0～16cmであったが、2009年には0～26cmとその範囲が大きくなっている。一方、ヒサカキはシラカシほど分布の広がりには大きくない。これはシラカシの樹冠がアカマツの樹冠に達し、ヒサカキよりも光を多く受け取れるようになったため、DBHが大きくなったものと考えられる。また、シラカシ、ヒサカキともに2009年の方が2001年よりもDBHが2～4cmの頻度が高くなっているのは、稚樹が成長し、今回の測定条件である樹高が4m以上に成長したことが原

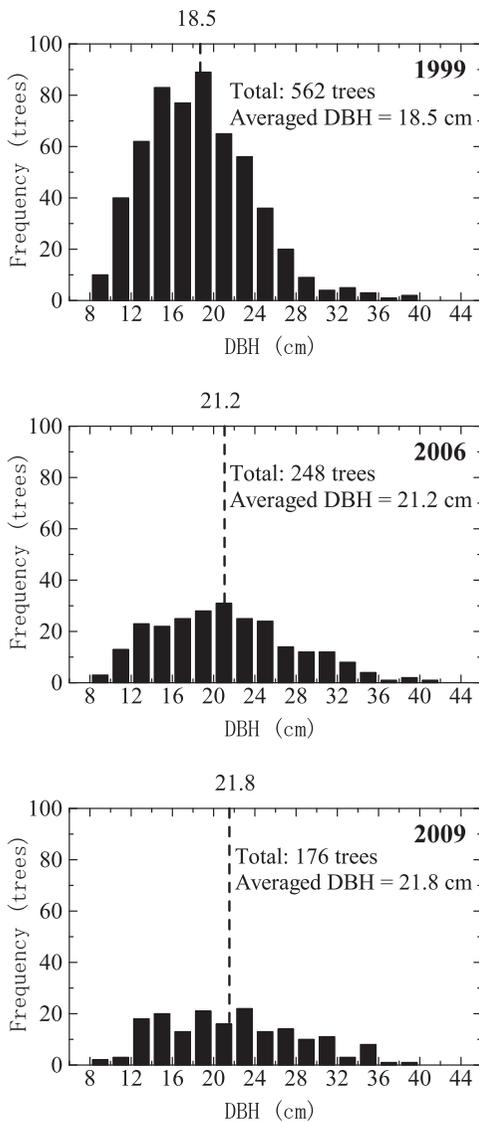
因として考えられる。

2. 立木密度の変化

第5図は調査対象領域でのアカマツのDBHの時系列変化を示したものである。1999年と比較すると2006年や2009年のほうが平均DBHの値は大きくなっている。これは、アカマツが成長したのではなく、DBHの小さい個体が枯死したり倒木したことによって相対的にDBHが増加したと考えられる。DBHの小さいアカマツは樹高が低いものが多い、周囲の樹木の生長により光が入らなくなるため、耐陰性の低い陽樹であるアカマ

ツは枯死したと考えられる。宇佐美・及川(1993)では、2012年でのアカマツの立木密度は12本/400m²と予測していたが、それを上回る割合で減少していることが分かる。

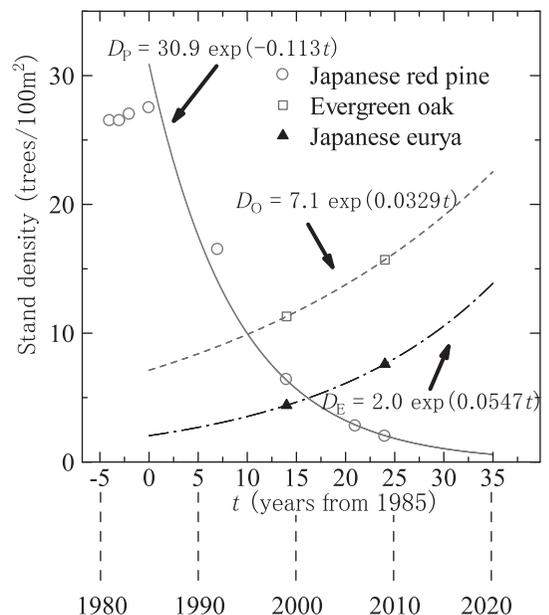
飯田ほか(2001)では、同対象領域を6つの小領域に分け、アカマツの立木密度の分布状況を報



第5図 1999年、2006年、2009年のアカマツの胸高直径のヒストグラムの時系列変化

告している。第3表は1999年、2006年、2009年の各領域内のアカマツの立木密度を表したものである。全ての年でC領域の立木密度が最大であった。一方AやF領域の立木密度が小さいことが分かる。AとF領域は対象林分の両端に位置するため、光が入りやすいことからアカマツ以外の樹種が成長し遷移が進行することで、アカマツが枯死しているものと考えられる。また風の影響も受けやすいことから、強風によって倒木することも考えられる。1999年から2009年にかけては全体的に同じような割合でアカマツの立木密度が減少していることから、アカマツの衰退は、局所的なものではなく対象領域全体で進んでいることが分かる。

第6図はアカマツ、シラカシ、ヒサカキの立木密度の時系列変化を示したものである。シラカシとヒサカキについては同じ領域にするために気象観測塔の周辺で得られた立木密度のデータを用いて、回帰式を作成した。それぞれの回帰式は以下



第6図 アカマツ、シラカシ、ヒサカキの立木密度の変化

のようになった。

$$D_P = 30.9 \exp(-0.113t) \quad (2)$$

$$D_O = 7.1 \exp(0.0329t) \quad (3)$$

$$D_E = 2.0 \exp(0.0547t) \quad (4)$$

ここで、 D は立木密度（本/100 m²）、 t は1985年からの経過年数（年）、下付き添え字のPはアカマツ、Oはシラカシ、Eはヒサカキを表す。得られた回帰式からアカマツは2020年にはほぼ枯死するものと推定される。この結果は飯田ほか（2003）の結果と同様である。シラカシとヒサカキに関しては、得られた情報が少ないために現時点で評価することは困難であるが、高層木としてシラカシが、低層木としてヒサカキが卓越していることを確認することができる。しかし、今後どのような林分構造になるかは予測することが難しく、今後も毎木調査を継続的に行っていくことが必要である。

IV まとめ

筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林において、毎木調査を行った結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 対象林分のうち、最も多い個体はシラカシであり、全体の42.3%を占めていた。次にヒサカキ（27.1%）、アカマツ（7.1%）となっていた。また胸高断面積でも、シラカシが最も多くの割合を占めていたことから、シラカシ林への遷移が進行していることが分かる。
- 2) 立木密度の時系列変化で得られた回帰式から、2020年にはシラカシ林への遷移がほぼ完了するものと推定される。また、現時点においては本対象領域の林分構造はこれまでにアカマツが高層木として卓越していたが現在ではシラカシが卓越し、低層木としてヒサカキが卓

越している。

これまでの研究ではアカマツを中心に調査が行われてきたが、本研究によって調査対象領域におけるシラカシとヒサカキのデータが加わったことにより、アカマツ林地の林分構造がより明確になった。今回の研究によって対象林地ではシラカシ林への遷移が進行していることが確認できたが、今後ヒサカキも低層木として卓越することが予想される。このことから、対象としたアカマツ林地の林分構造の変化を明らかにするためには、今後も毎木調査を実施する必要があるものと考えられる。

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.
- 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，**3**, 59-82.
- Sugita, M. (1985) : Factors affecting evapotranspiration of a forest. *Geographical Review of Japan., Series B*, **58**, 74-82.

（2010年5月31日受付，2010年9月9日受理）

菅平湿原における地表水の硝酸濃度と土地利用の関係

Nitrate Concentration of Surface Water and Land Use in Sugadaira Wetland

岩上 翔*・田中 正**・呉羽 正昭*・兼子 純*・三木田 慎*

Sho IWAGAMI*, Tadashi TANAKA**, Masaaki KUREHA*,
Jun KANEKO* and Makoto MIKITA*

Abstract

Sugadaira area is known as intensive agriculture and recent development of tourist business. The influence of agriculture and changing of land use to the water quality of the surface water is of great interest. Generally, the water quality of the surface water is reflecting the land use, however, it is rare to conduct the land use survey and hydrological survey at once. Also wetland is known to have denitrification function. Thus, both land use survey and hydrological survey were conducted in Sugadaira wetland, Nagano Prefecture on 30 Oct 2009, especially focusing on the relationship between land use and nitrate concentration of surface water.

New land use map around Sugadaira wetland have updated. Thirteen samples were taken from Sugadaira river (4 of them were taken from main stream and 9 of them were taken from tributaries). Tributaries which do not pass through the agricultural area showed low NO_3^- concentration around 10 mg/L. The NO_3^- concentration of the tributaries which have path through the agricultural area showed high value up to 110.6 mg/L. At the main stream, denitrification have observed; NO_3^- concentration declined from 47.2 mg/L to 23.1 mg/L by path through from upstream to downstream of the wetland instead of the contribution of tributaries with high NO_3^- concentration.

1 はじめに

菅平高原は長野県上田市北部標高 1250~1400 m に位置し、東部の四阿山・根子岳の過去の火山活動によってできた十ノ原と呼ばれる火山斜面と西部の湿地を中心とした菅平盆地から成る。菅

平盆地の湿地は四阿山の噴火によって堰き止められて出来た堰止湖が陸地化したものである。この地域ではレタスを中心とした高原野菜が集約的に栽培され、高原の北側にはスキーゲレンデが広がっており高冷地農業と観光業が卓越している。近年では農地からグラウンドへと土地利用が変化

* 筑波大学大学院生命環境科学研究科

** 筑波大学国際部

する様子も見られ、排水用の水路の整備・下水道の整備が進むのに伴って湿地の乾燥化が進んでいる。

菅平地域の土地利用に関してその歴史や特徴について上江洲ほか（2003）では菅平高原における高冷地野菜栽培の特色やキャベツ栽培、ハクサイ栽培などを経て1980年代以降にはレタス栽培に特化するまでの過程について詳しく述べられている。また新藤ほか（2003）では観光形態に注目し、1980年代以降における、観光の主体が冬季のスキーから夏季のラグビー・サッカー・陸上に移行した観光形態の特徴や土地利用の変遷について詳しく述べられている。

土壤環境について藤野・松本（1992）では近年の大型農業機械を導入した野菜の単一栽培によって土壤侵食が加速したことが述べられている。また日雨量100mm程度の雨が数年に一度発生し、その際に土砂の侵食が激しく起こることも指摘されている。土壤侵食量の増加は湿原内の河床の上昇、水位の上昇や隣接する農地の冠水を引き起こし、この事態を受けて1987年に大規模な排水溝掘削工事が行われた。その経緯と排水溝掘削工事によってもたらされた湿原の植生の変化については桜井（1988）に述べられている。

過去の水文学的調査としては古くは東浦・小林（1967）による湧水の調査があり、古藤田・田瀬（1992）では水収支について、宮下・田瀬（1993）、鈴木ほか（1993）では地下水流動系について酸素安定同位体比や一般水質組成から示している。集約的な農業による過剰施肥やスキー場等における土壤侵食対策を目的とした堆肥の施用、家畜排泄物による河川水等の硝酸汚染が問題となっており、田瀬（1995）では、菅平地域の農業系物質の動態を調査し、地下水・湧水・河川水における NO_3^- 濃度および一般水質の空間分布と季節変化を示している。桜井・中本（1982）や古藤田・柘植（1989）では菅平高原における流出特性と融雪期の窒素流出量について報告しており、窒素流出

量が融雪期に非常に多く、それらの窒素は農耕地に施された肥料が浅層地下水を經由して流出したものであることを示している。またそれらの浅い流動系における帯流時間は5～10年程度と推定されている（鈴木ほか、1993）。PCNB（伏脇ほか、1994）やD-D（阿部、1992）などの農薬やその分解代謝物質等の動態についても調査が行われており、農業系物質の動態から複雑な地下水流動経路が示唆されたが、その全貌は未だ明らかにされていない。

水路の整備が進むことによって人為起源の硝酸負荷が河川や湿地に集約することが懸念されている一方で、湿地は独自の物質循環を有し水質浄化機能（脱窒作用）を持つことも知られており（田瀬、1995）、地表水の水質が土地利用と密接に関係があると考えられる菅平高原においては、地表水の水質や水質浄化機能の実態は土地利用と照らし合わせて議論することが重要である。

II 目的

本調査は菅平盆地の湿地部周辺（菅平湿原）において2009年10月現在における土地利用と地表水の NO_3^- 濃度の実態を示し、それらの関係を明らかにすることを目的として行った。

III 調査地域の概要

菅平湿原は地元農家の草刈場として利用されてきたが、近年は湿原流域の山地斜面の数個所にスキーゲレンデが開設されているほか平坦部には100haを越える農地があり、球技グラウンド・テニスコート・ペンション等も多い。菅平湿原の植生は、ハルニレ群団に属する湿生林植物社会とヨシ群団に属する低層湿原から成り、ハルニレ・ヤチダモ・ハンノキ等の疎林とスゲ類を主とする湿性草原が交錯している。

気象庁 AMeDAS データ（菅平観測所：標高

1253 m)における1999～2008年の10年間の年平均気温は6.7℃、年降水量は1161.1 mmである。冬季の降雪はほとんど降雪で同じ10年間の平均最深積雪は104.5 cmである(気象庁ホームページ)。

菅平湿原の中央を南東に向かって流下する菅平川は、根子岳・四阿山から流れる唐沢・大明神沢・中之沢などの溪流の水を順次集めてやがて千曲川へと至る。またこの地域には数多くの湧水が存在している。菅平川を中心とした菅平流域は流域面積37.4 km²である。河川流量は菅平ダムで観測されており、流量は融雪期である4月に多く、梅雨期や台風期も多い傾向を示す。

IV 調査方法

現地調査は2009年10月30日に実施した(午前:採水・水質調査, 午後:土地利用調査)。採水は湿地帯中央を流下する菅平川において本流・支流合わせて13地点で行った。水サンプルは100 mlのポリエチレンボトルに採水し、菅平実験センターにおいてNO₃⁻濃度のみパックテスト(共立理化WAK-NO₃)を用いて測定を行い、残りは筑波大学に持ち帰って実験室において測定を行った。パックテストはNO₃⁻濃度に関して判別できる上限が45 mg/Lの測定値を目測で判別するものであり、現地において大体の値を把握するために用いた。実験室における測定項目と使用した機器はそれぞれHCO₃⁻(硫酸滴定)、Cl⁻・NO₃⁻・SO₄²⁻(島津イオンクロマトグラフHIC-10Asuper)、Na⁺・K⁺・Mg²⁺・Ca²⁺(プラズマ発光分光分析ICAP-757v, Nippon Jarrell-Ash)である。土地利用調査は2002年に行われた土地利用調査の結果(筑波大学地球科学系人文地理学研究グループ, 2003)を元にし、元となる土地利用図との相違を記載する形で行った。

なお、以上の調査は平成21年度筑波大学大学院生命環境科学研究科開設・地球環境科学特別野

外実験Iの一環として実施された。

V 結果と考察

1. 土地利用調査結果

調査地域の位置と今回の土地利用調査によって得られた土地利用図を第1図に示す。土地利用に大きな変化は見られず、湿地周辺には多くの農地が分布しており、グラウンド等のスポーツ施設は菅平川沿いに多く集中し、住宅地などは菅平川から少し離れて分布している。大筋で2002年に行われた土地利用調査の結果から変化していないが、農地が新たにグラウンドとなった場所やグラウンド面積が拡張した場所が見受けられた。農地においては作物の収穫後時間が経っており、作物が何であったか推定できない場合も多く見受けられた。また菅平高原自然館周辺の湿地遊歩道周辺で地表水が見られないなど、湿地の乾燥化も確認された。

2. 水質調査結果

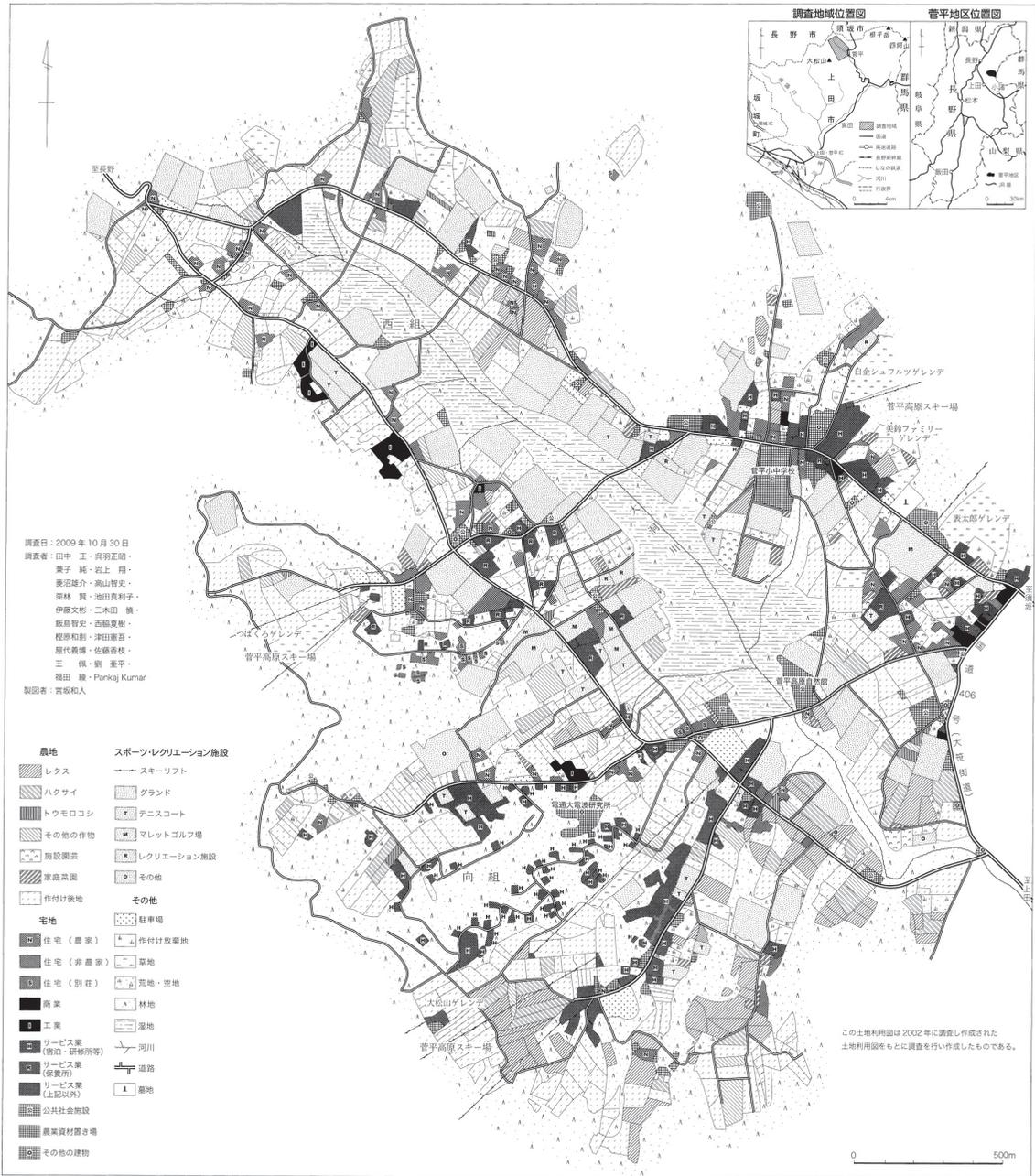
水質分析結果を第1表にまとめて示す。NO₃⁻濃度について、パックテストによる測定値とイオンクロマトグラフによる測定値を比較して第2図に示す。また採水地点と各採水地点における水質をヘキサダイアグラムで空間分布を示したものが第3図である(ヘキサダイアグラムにおけるNO₃⁻濃度はイオンクロマトグラフによる測定値を使用)。

第2図よりNO₃⁻濃度についてパックテストとイオンクロマトグラフでは値に差があり、イオンクロマトグラフによる測定値の方がパックテストによる値に対して約1.5倍程度高い値を示すものの、傾向は概ね一致している。地点2-2のNO₃⁻濃度はパックテストでは45 mg/L以上となり判別できず、イオンクロマトグラフでは110.6 mg/Lとなった。以下の議論ではNO₃⁻濃度はイオンクロマトグラフから得られた値で議論する。

NO₃⁻濃度の環境基準値はNO₃-Nとして10 mg/L (NO₃⁻濃度として44.2 mg/L)なのでイオンクロマトグラフによる測定結果からすると地点

1-2, 1-4', 1-5, 2-2, 2-5の5地点が環境基準値を超えている結果となった(地点1-2, 1-4', 1-5, 2-2, 2-5の5地点におけるNO₃⁻濃度はそれぞれ、

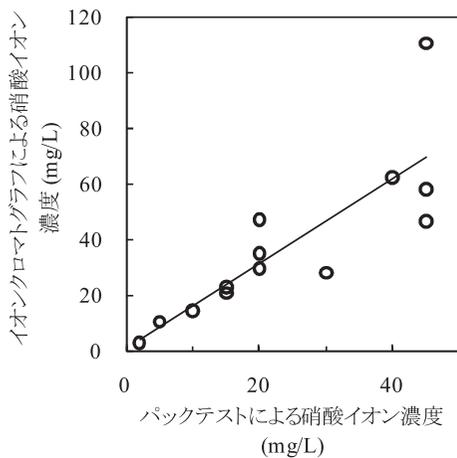
上田市菅平地区西組・向組土地利用図



第1図 調査地域の位置および土地利用図 (巻末の封筒に原図あり)

第1表 各採水地点の集水域における主な土地利用と水質分析結果

地点 番号	種別	集水域の主な土地利用 (本流は湿地内の位置)	イオン濃度測定値 (mg/L)								
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	
										イオンクロマトグラフ	バックテスト
1-1	本流	湿地中央部, 林地	3.6	2.5	20.2	7.2	6.3	33.6	18.9	29.6	20
1-2	本流	湿地の始まり, 農地	4.0	3.3	22.6	9.1	7.3	28.1	21.2	47.2	20
1-3	支流	林地, 農地	3.5	2.4	15.2	5.7	4.7	20.1	9.9	28.0	30
1-4	支流		5.8	4.3	52.9	17.1	12.2	117.2	53.8	35.1	20
1-4'	支流		4.6	4.1	42.2	15.1	13.4	30.5	64.2	62.2	40
1-5	支流	農地	5.7	9.0	21.2	10.7	9.1	28.7	18.4	58.2	45
2-1	本流	湿地, 林地, 農地	5.8	2.4	23.5	7.5	11.0	42.1	22.5	20.7	15
2-2	支流	湿地, 農地, グラウンド	9.0	7.0	52.7	28.0	24.3	25.6	134.0	110.6	45
2-3	支流	農地, 駐車場等	4.1	1.7	15.4	3.7	4.5	37.2	13.8	14.4	10
2-4	支流	住宅地, グラウンド	3.7	1.6	12.7	3.6	3.5	43.3	12.8	3.0	2
2-5	支流	農地	4.1	2.2	24.5	7.7	10.1	34.2	15.2	46.4	45
2-6	本流	湿地末端部, 農地	7.2	2.5	21.5	6.8	9.8	39.7	25.9	23.1	15
2-7	支流	住宅地, グラウンド	3.7	2.5	19.4	5.3	8.6	53.1	11.7	10.5	5



第2図 バックテストによる硝酸イオン濃度測定値とイオンクロマトグラフによる硝酸濃度測定値の比較

47.2, 62.2, 58.2, 110.6, 46.4 mg/L). 湿地の上流側に位置する地点1-3, 1-4, 1-4', 1-5は耕作地のある斜面下部から湧き出している湧水の少し下流で採水したもので高いNO₃⁻濃度を示している(地点1-3, 1-4におけるNO₃⁻濃度はそれぞれ28.0, 35.1 mg/L). 地点1-4'は地点1-4の近傍であるが生活排水の流入が確認されており, 地点1-4'の方がNO₃⁻濃度において27.1 mg/L高い値を示した.

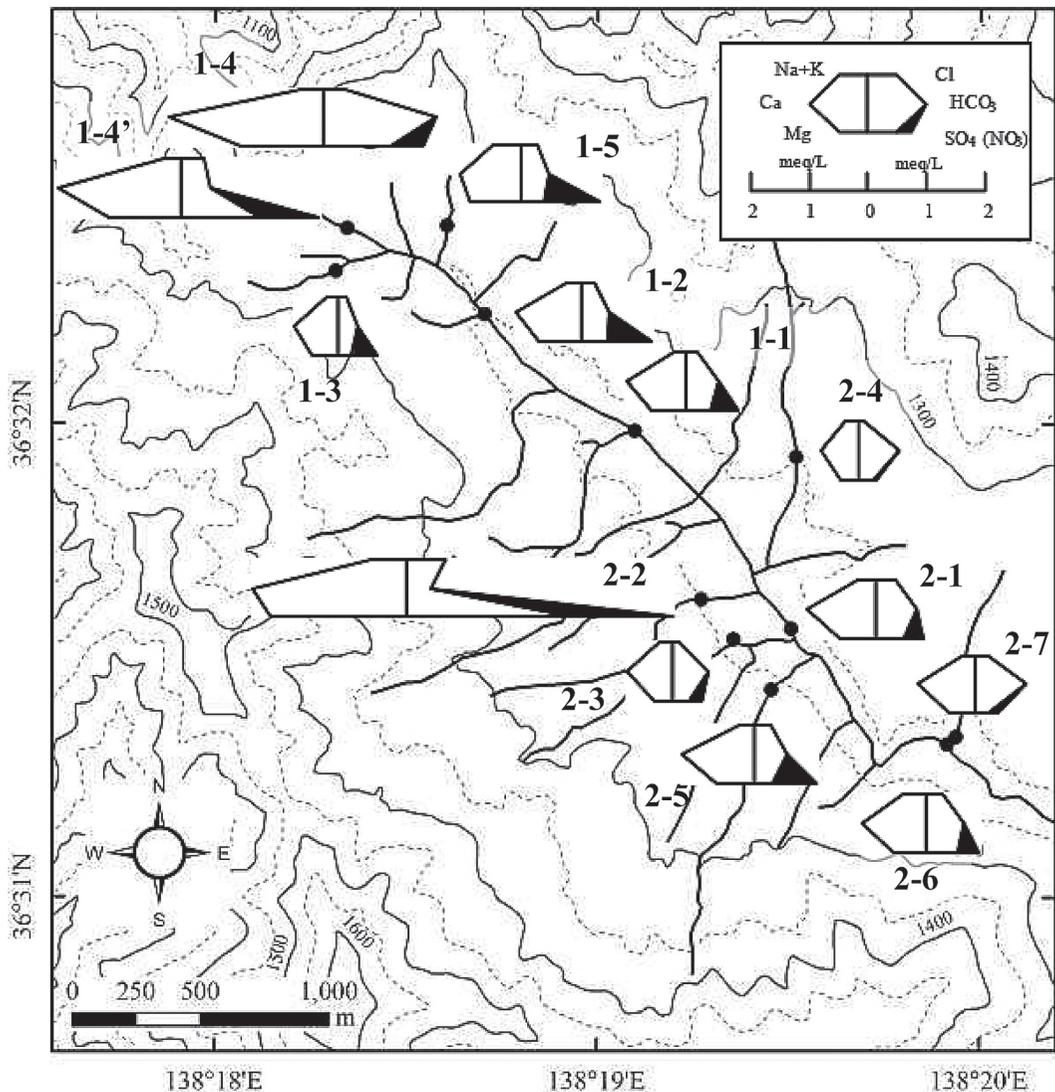
本流は流下するにしたがって地点1-2 → 1-1 → 2-1 → 2-6の順に通過し, NO₃⁻濃度は47.2 → 29.6 → 20.7 → 23.1 mg/Lと2-1から2-6にかけて2.4 mg/L増加しているものの全体としては濃度が低下していく様子が示された. また本流の流下にしたがってHCO₃⁻濃度は28.1 → 33.6 → 42.1 → 39.7 mg/Lと増加する様子がみられた.

NO₃⁻濃度以外のイオン濃度については第3図のヘキサダイアグラムの形状によると地点1-4'と2-2以外のすべての地点においてCa²⁺とHCO₃⁻が相対的に高い濃度を示す算盤玉形を示した. 地点1-4'と2-2ではNO₃⁻濃度を含め各水質成分が特異的に高く, ヘキサダイアグラムは右下辺の長い矢羽形を示した.

これらの結果は従来の結果とも同じような傾向を示すものであり, 1991年11月の水質結果(田瀬, 1995)と調和的であった.

3. 地表水のNO₃⁻濃度と土地利用の関係

調査地域周辺(湿地周辺)における農地のみを第1図から抜き出し, その空間分布を採水地点と合わせて第4図に示す. 支流を採水した地点におけるNO₃⁻濃度はばらつきが大きく, それぞれの

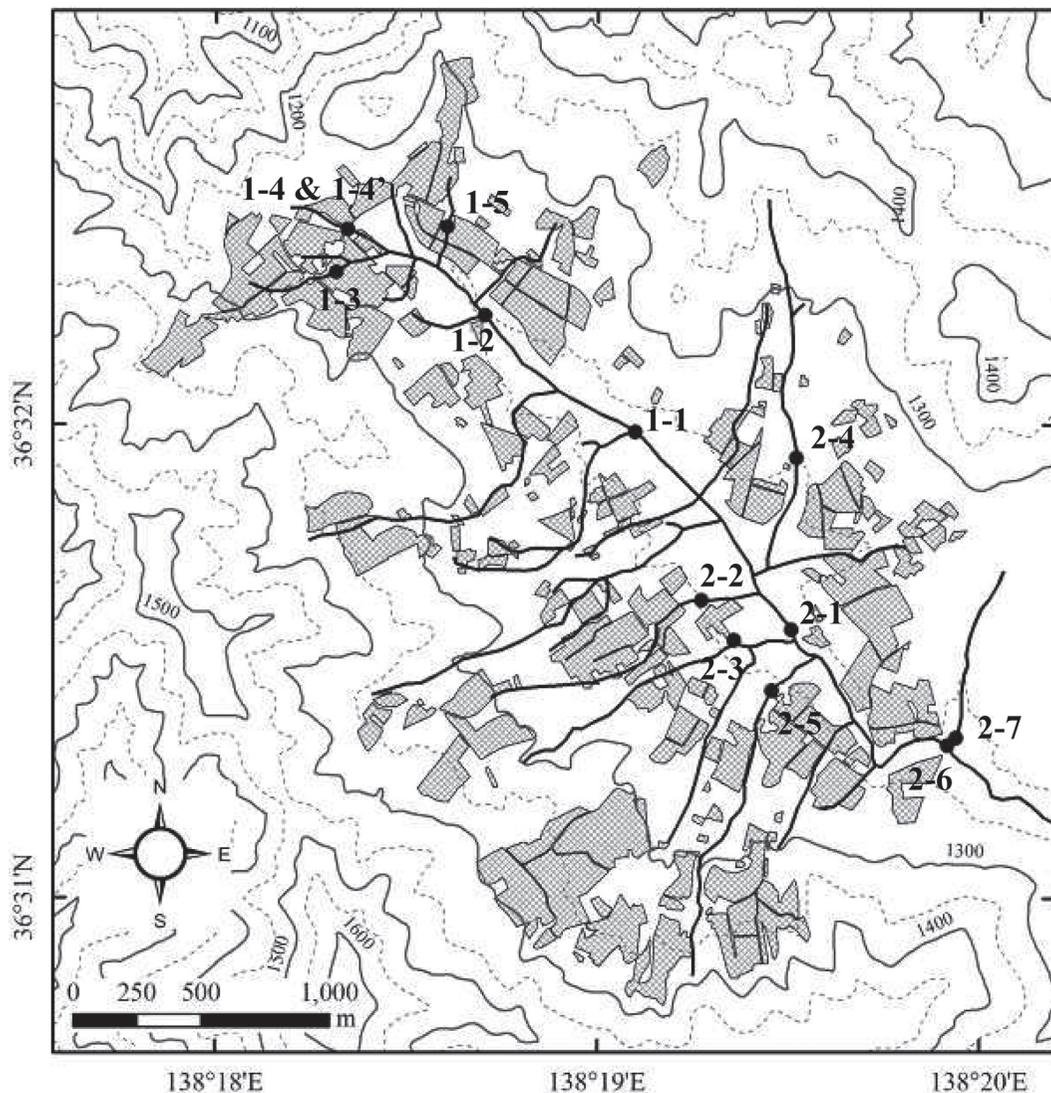


第3図 各採水地点における溶存イオン成分の空間分布（硝酸濃度はイオンクロマトグラフによる測定値を使用）

支流が流下してきた土地利用を反映していると考えられる。地点2-4, 2-7で採水された水サンプルは農地を通過せずに採水地点に至っており、これらの水質は農地における施肥などの影響を受けていない地点と考えられる。地点2-4, 2-7のNO₃⁻濃度はそれぞれ3.0, 10.5 mg/Lと低い値であった。それに対して湿地の上流側に位置する地

点1-3, 1-4, 1-4', 1-5は耕作地のある斜面下部から湧き出しており、斜面上部の耕作地に影響されて高いNO₃⁻濃度を示している。

地点2-2ではNO₃⁻濃度を含め各水質成分が特異的に高い濃度を示したが、この地点は農地と農地に挟まれた整備されていない水路で、水がほとんど流れていない地点であったことから各水質成



第4図 調査地域周辺（湿地周辺）における農地の空間分布

分が蒸発・乾燥によって濃縮されていると推定される。また地点2-2では生活排水の流入は確認されなかったが、地点1-4'とヘキサダイアグラムが似た形状をしており、生活排水の流入も示唆される。地点2-2における水質は乾燥化しつつある湿地周辺において施肥の影響が強く出ている土地における水質を代表していると思われ、無降雨時は環境に対する影響はその地点に留まるもの

の降雨時などその濃縮された水質成分が流出する際には地域の環境に大きく影響することが懸念される。地点2-3の源流は大きな湧水となっており流量も多く、その集水域における土地利用からは農地の影響が推定されるが各水質成分の濃度は低く、 NO_3^- 濃度も14.4 mg/Lと比較的低かった。

菅平川本流の水質変化をみると流下するにしたがって農地を流下した高い NO_3^- 濃度を持った支

流が流入するものの本流の NO_3^- 濃度は低下(47.2 → 23.1 mg/L)している。これには植生による吸収や、より低い NO_3^- 濃度をもった支流の流入による希釈(地点2-3や2-4)の影響も考えられるが、 NO_3^- 濃度の低下とともに HCO_3^- 濃度が上昇(28.1 → 39.7 mg/L)しており、還元的な環境における湿地の脱窒作用が働いたと考えられる。地点2-1から2-6にかけての NO_3^- 濃度の上昇は、この間に流入する支流である地点2-5が46.4 mg/Lと、地点2-1における NO_3^- 濃度の20.7 mg/Lに対して倍以上の濃度を持っており、その流量が明らかにされていないので定量的な議論はできないが、湿地の脱窒作用を上回る窒素の負荷によって NO_3^- 濃度を上昇させていると推察される。また今回は地下水については採水を行っていないが、溶存イオンの非常に少ない地下水が湿地を涵養していることも指摘されており(田瀬, 1995)、流下にもなう本流の NO_3^- 濃度の低下は低い溶存イオン濃度を持った地下水による希釈の影響の可能性も考えられる。

VI まとめ

菅平湿原を中心とする菅平流域において土地利用調査と地表水の水質調査を行った結果、地表水の NO_3^- 濃度と土地利用との関係は以下のようにまとめられる。

- 1) 農地の影響を受けない水の NO_3^- 濃度は0~10 mg/L程度の低い値を示す。
- 2) 湿地の機能としての脱窒作用が水質結果から確認でき、定量的な評価はできないが農地を流下して60 mg/L程度の高い NO_3^- 濃度を持った支流の流入に対して湿地の中央を流下する本流では NO_3^- 濃度を20 mg/L程度までに低下させる機能がある(希釈の影響も考えられるが、本調査では十分な議論ができない)。
- 3) 乾燥化しつつある湿地近傍において、農地に

介在する流量の非常に少ない水路では NO_3^- イオン濃度は100 mg/L以上にまでおよぶ。

今回の調査では水質の情報量は少ないが、水文調査のみでは得られない土地利用と水質の両方の結果が得られた有意義なものとなった。より詳しい水質の形成プロセスや湿地の浄化作用について議論するためには流量観測に基づいた量の議論が必要である。また湿地の乾燥化にともない、基底流量時における物質の動態と降雨流出時における物質の動態では状況が異なると推測され、降雨流出時における詳細な観測も重要であると考えられた。

謝辞

本調査の土地利用図は筑波大学生命環境科学等支援室の宮坂和人先生に作成していただいたものである。深く感謝いたします。また本調査の実施および水質分析等においては筑波大学大学院生命環境科学研究科地球科学専攻の学生各位の協力を得た。記して謝意を表する。

文献

- 阿部和子・古藤田一雄・森田昌敏(1992):菅平盆地における土壤くん蒸剤D-Dの水系汚染に関する研究。筑波大学水理実験センター報告, **16**, 27-37.
- 上江洲朝彦・仁平尊明・手塚 章(2003):長野県菅平高原における高冷地野菜栽培の特色。地域調査報告, **25**, 1-18.
- 気象庁ホームページ URL: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 古藤田一雄・田瀬則雄(1992): <講演要旨-4> 長野県菅平流域の水収支。筑波大学水理実験センター報告, **16**, 162-163.
- 古藤田一雄・柘植敏朗(1989): <講演要旨-1> 菅平高原における融雪期の流出特性と水質の変化。筑波大学水理実験センター報告, **13**,

179.

- 桜井善雄 (1988): 上信越高原国立公園の菅平高原における排水溝掘削工事の経緯とそれに伴う植生の変化について. 信州大学環境科学論集, **10**, 16-27.
- 桜井善雄・中本信忠 (1982): 融雪期における菅平高原からの窒素およびリンの流出量とその流出特性について. 水温の研究, **26**, (3), 11-18.
- 新藤多恵子・内川 啓・山田 亨・呉羽正昭 (2003): 菅平高原における観光形態と土地利用の変容. 筑波大学地球科学系 人文地理学研究グループ 地域調査報告, **25**, 19-46.
- 鈴木和哉・田瀬則雄・古藤田一雄・伏脇祐一 (1993): <講演要旨-3> 長野県菅平盆地における地下水流動系について. 筑波大学水理実験センター報告, **18**, 158-159.
- 田瀬則雄 (1995): 農業系物質の水系への流出経路と形態に関する研究 平成5・6年度科学研究費補助金(一般研究B)研究成果報告書(課題番号 05453195), 25-42.
- 筑波大学地球科学系人文地理学研究グループ (2003): 「長野県真田町菅平地区土地利用図」地域調査報告, **25**.
- 東浦将夫・小林 徹 (1967): 菅平における湧泉の水文学的研究. ハイドロロジー, **1**, 28-32.
- 伏脇裕一・田瀬則雄・古藤田一雄・浦野紘平 (1994): 野菜栽培地域における殺菌剤ペンタクロロニトロベンゼン及び分解代謝物質の動態. 衛生化学, **40**, (1), 39-48.
- 藤野篤弘・松本栄次 (1992): 菅平盆地の畑地における表土の侵食. 筑波大学水理実験センター報告, **16**, 69-77.
- 宮下雄次・田瀬則雄 (1993): 長野県菅平における降雪及び積雪と河川水の酸素同位体比について. 筑波大学水理実験センター報告, **17**, 145-152.
- (2010年10月25日受付, 2010年11月25日受理)

阿武隈山地の野外風化実験サイトにおける風化環境

Environmental Conditions of Field Experimental Sites for Rock Weathering
in the Abukuma Mountains

八反地 剛*・秋山 沙苗*・松倉 公憲**

Tsuyoshi HATTANJI*, Sanae AKIYAMA* and Yukinori MATSUKURA**

1 はじめに

岩石の風化速度の解明は地形変化を予測する上で重要である。たとえば基盤岩石の風化速度は風化土層の形成速度をコントロールすることで、崩壊による斜面発達に大きな影響を及ぼしている(飯田・奥西, 1979; 松倉, 2008)。ところで岩石の風化機構は物理的風化から化学的風化まで多種多様であり, 岩石物性のほか気候・水文条件などの風化環境の影響を受ける。周水河環境下や岩石海岸など, 比較的シンプルな風化環境下における岩石の風化速度の研究はすすんでいるものの(Matsuoka, 1990; 高橋ほか 1993 など), 湿潤森林山地における岩石の風化速度に関する研究はあまり進んでいないようである。土層形成速度に関する研究については, 年代が既知の崩壊地における土層形成に関する研究(Wakatsuki and Matsukura, 2008)や, 宇宙線生成核種年代測定法を利用して尾根部の土層形成速度を明らかにする研究(Heimsath *et al.*, 1997)などがある。しかし, これらの場合, 直接的に岩石の風化速度を計測しているわけではないため, いくつかの問題を含んでいる。

岩石の野外での風化速度を類推する方法として, 岩石物性や環境条件をあらかじめ設定する野

外風化実験という手法があり(松倉・八反地, 2006), この方法は前述の問題を解決する糸口になる可能性がある。近年筆者らは阿武隈山地の花崗閃緑岩を基盤とする斜面において野外風化実験を継続しており, すでにその成果を逐次報告してきた(Matsukura and Hirose, 1999; 松倉・八反地, 2006; Matsukura *et al.*, 2007; 八反地・松倉, 2007)。筆者らによる野外風化実験は8種類の岩石タブレット(花崗岩, 花崗閃緑岩, ハンレイ岩, 石灰岩, 流紋岩, 安山岩, 凝灰岩, 結晶片岩)を4つの環境条件下(地上, 不飽和土層中深さ15 cm, 不飽和土層中深さ60 cm, 飽和土層中)に設置し, その重量減少から風化速度を見積もるというものである。Matsukura *et al.* (2007)は飽和土層を除く3つの環境条件下の石灰岩を除く7つの岩種において, 易風化指数の増加とともに風化速度が増加することを明らかにした。このことから, 飽和土層を除く3つの環境条件において基本的に物理的風化が卓越することが示唆されている。しかしながら, 現状では現地の環境条件が十分に把握されておらず, 地温, 水分条件, 二酸化炭素濃度の具体的な情報が不明であるため, 環境条件と風化速度の関係が十分に議論されていない。そこで, 2008年10月より気温・地温の連続観測と二酸化炭素濃度の定期測定, および寒期

* 筑波大学大学院生命環境科学研究科

** 筑波大学名誉教授

における凍結状況の調査を行った。本稿ではその結果を報告する。なお、同時に土壌水分の連続観測も実施しているが、その結果については別稿で報告する予定である。

II 観測方法

観測対象地は、阿武隈山地中部の羽山山腹に位置するタブレット野外風化実験サイトである。岩石タブレットの設置個所は、前述のとおり地上、不飽和土層中の深さ 15 cm、不飽和土層中の深さ 60 cm、飽和土層中の 4 か所である。実験の詳細については既報 (Matsukura and Hirose, 1999; 松倉・八反地, 2006; Matsukura *et al.*, 2007; 八反地・松倉, 2007) に詳述しているので、ここでは省略する。観測対象斜面は標高約 660 m にあり、角閃石黒雲母花崗閃緑岩を基盤としている (久保ほか, 2007)。植生はおもに植林のスギである。観測対象斜面の西南西約 6 km に位置するアメダス気象観測点「小野新町」の平年値 (1979 ~ 2000 年) によると、年平均気温は 10.3 °C、1 月の日最低気温の平年値は -5.1 °C、8 月の日最高気温の平年値は 27.6 °C である。年降水量は 1232 mm であり、このうちの約 40% は 7 月から 9 月に集中する。冬季は比較的降水が少ないが、その多くは雪と考えられる。

温度の通年観測は 2008 年 10 月 27 日に開始した。タブレットの設置個所の代表的な位置、すなわち地上約 5 cm、不飽和土層中の深さ約 15 cm と深さ約 60 cm、飽和土層の地中深さ約 5 cm にモールド型温度センサーを設置し、データロガーにより 30 分毎に温度変化を記録した。同時に土壌空気中の採取管を不飽和土層中の深さ 15 cm と 60 cm に設置した。この採取管を用いて、4 月から 11 月までは 1 ~ 2 か月ごと、それ以外の冬季期間中は 2 月中に 1 回現地に行き、二酸化炭素濃度を直接測定した。ガステック社の吸引機を用いて土壌空気 100 cc を検知管 (2 L または 2 LL)

に導入することで測定した。まれに土壌水分が高い場合は、検知管に水が浸入し測定できないことがあった。そのような場合は、吸引機と土壌採取管の間に 200 cc のフラスコを設置し、ハンドポンプでフラスコ内部を十分減圧した後土壌空気を土壌水とともにフラスコに導入し、その内部の気体をガステック吸引機により 100 cc 採取し測定を行った。

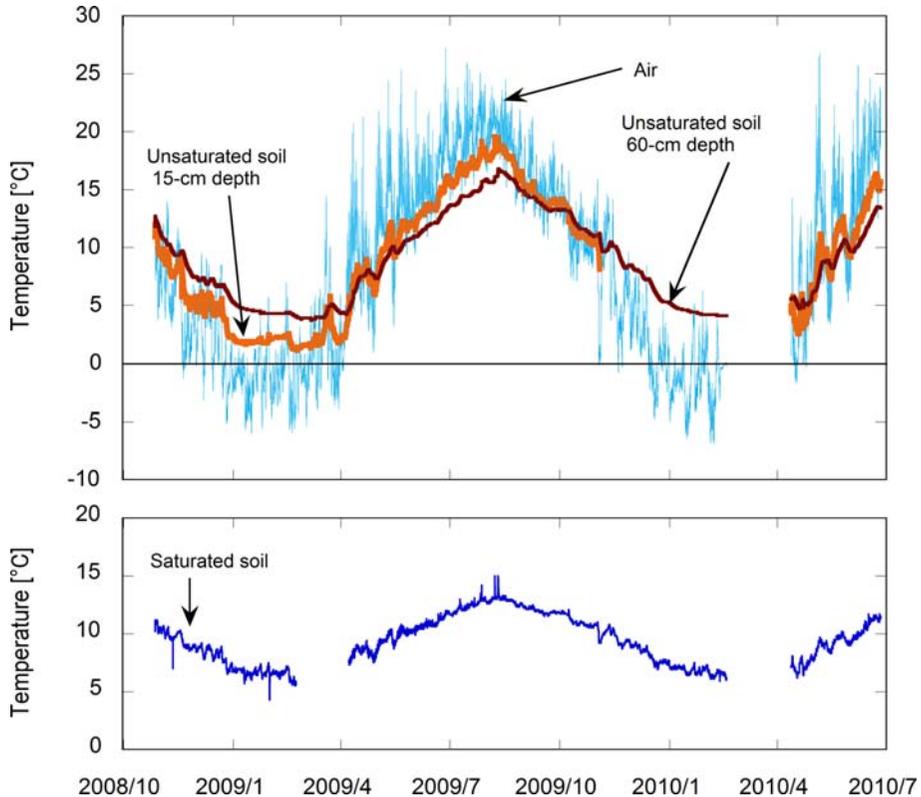
また、二酸化炭素濃度の現地測定の際に、タブレットの状況を肉眼で観察した。特に地上のタブレットについては塩類の析出の有無や、飽和土層においては流水の有無について観察を行った。

III 結果

1. 地温

2008 年 10 月 27 日から 2010 年 6 月 26 日の期間中の気温 (地上約 5 cm)、不飽和土層の地中深さ約 15 cm と深さ約 60 cm の地温、飽和土層中の地温の計測結果を第 1 図に示す。期間中グラフのない部分是不慮の事故や操作ミスなどによる欠測期間である。地上の気温は日周期性の大きな変動がみられる。12 月から 3 月にかけては夜間ないし一日中氷点下に達しており、最も気温が低い時期には -7 °C に達した。一方、深さ 15 cm では 2 °C 程度まで低下するものの、この 2 回の冬季期間中に氷点下に達することはなかった。深さ 60 cm では 4 °C 程度までしか低下しなかった。夏季、地上の気温は最大 25 °C 程度まで上昇した。地中の深さ 15 cm では最大 19 °C 程度、深さ 60 cm では最大 17 °C 程度まで上昇した。飽和帯では地下水流の影響を受けていると思われる地温変動がもっとも小さく、夏季は 14 °C、冬季でも 6 °C 程度であった。

冬季、凍結がどの程度進行しているか確認するため、もっとも地温が低下する 2 月中旬から下旬にかけて (2009 年 2 月 22 日午前 10 時、2010 年 2 月 17 日午前 10 時) 現地踏査を行い、不飽和



第1図 風化実験サイトにおける温度変化（2008年10月～2010年6月）

土層のタブレット設置地点の側方約1mの地点で地表面から15cm程度の深さまで掘削し、断面の観察を行った（第2図）。2009年の調査では積雪深が1cm程度と薄く、地表では霜柱も観察された。積雪層のすぐ下のA層には、厚さ2～5cmにわたって凍結層（アイスレンズ）も観察されたが、タブレットを埋設している深さ15cmまでは及んでいなかった。2010年の調査では積雪深が15～20cmと厚く、この積雪層の下の土壌は未凍結で水分を多く含んだ状態であった。

2. 二酸化炭素濃度

不飽和土層の2深度（15cmと60cm）における二酸化炭素濃度の測定結果を第3図に示す。深さ15cmでは夏季に0.3%まで濃度が上昇し、深さ60cmでは最大2.2%まで上昇した。一般的に

は、夏季に生物活動が活発化し、微生物による有機物の分解や植物根の呼吸による二酸化炭素の放出により、土壌中の二酸化炭素濃度が増加すると考えられており、本計測結果もこの考えで説明される。ただし、深さ15cmでは有機物が多いものの通気性も良く、低濃度の大気（二酸化炭素濃度0.03～0.04%）と空気が交換しやすいため、そこでは深さ60cmよりも二酸化炭素濃度が低いと考えられる。二酸化炭素濃度が最大となる時期は、いずれの深さでも8月下旬であり、気温が最大となる7月下旬から8月上旬よりはやや遅れている。

3. その他の観察項目

二酸化炭素濃度測定の際に肉眼で現地の状況を観察した。地上のタブレットについては特に塩類

(A) 22 Feb. 2009



(B) 17 Feb. 2010



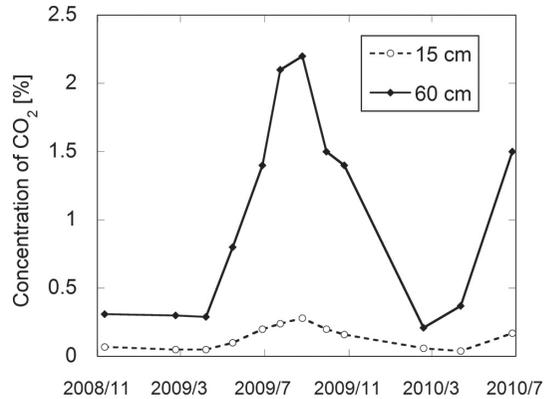
第2図 寒冷期における積雪および地中深さ約20 cmまでの凍結の状況 (A: 2009年2月, B: 2010年2月)

が析出している様子は見られなかった。また、飽和土層における流水は降雨量の少ない冬季でも涸れることはなかった。前述の通り2月の測定の際、斜面上には積雪が見られたが、飽和土層の周辺では6℃以上の温度を持つ地下水の流出により積雪は融解していた。

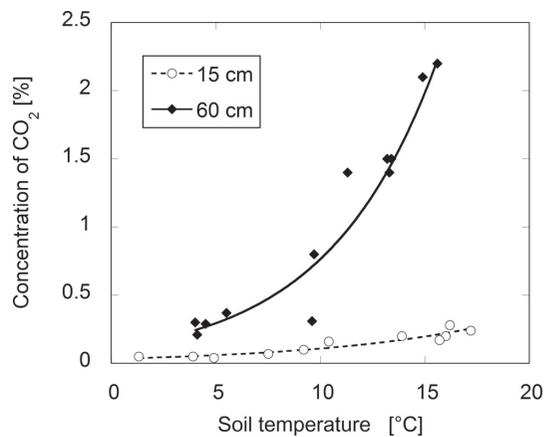
IV 考察

1. 地温と二酸化炭素濃度との関係

不飽和土層の2深度(15 cmと60 cm)における地温と二酸化炭素濃度の関係を第4図に示す。いずれの地点においても地温が上昇するととも



第3図 不飽和土層中の二酸化炭素濃度の季節変化



第4図 土層中の二酸化炭素濃度と地温の関係

に、二酸化炭素濃度が指数関数的に上昇する傾向を読み取ることができる。同様の傾向は八ヶ岳演習林で二酸化炭素濃度の通年観測を行った Hamada and Tanaka (2001) においても指摘されている。この傾向をもとに、連続観測可能な地温データから地中二酸化炭素濃度をある程度推定することが可能であろう。

2. 物理的風化作用

温度観測の結果(第1図)から、地上のタブレットは凍結融解による風化作用を受けると考えられる。Matsuoka (1990) は、岩石が凍結により破碎するためには-2℃から+2℃の温度変化が有

効であるとし、この範囲の温度変化の繰り返しを有効凍結融解サイクル (Effective freeze-thaw cycles) と定義している。地上の気温の凍結融解サイクルをカウントしたところ、2008/2009 年の冬季は 14 回、2009/2010 年の冬季は 2010 年 2 月 17 日までに 6 回であった。2009/2010 年の冬季は 2 月 17 日以降欠測のため、シーズン全体の正確な回数は不明であるが、2008/2009 年のシーズンの 2 月 17 日までの凍結融解サイクルが 7 回であったことを考慮すると、同程度の凍結融解サイクルが生じたと考えられる。凍結風化が発生するためには水分の存在が必要不可欠である。実際には現地に積雪があり (第 2 図)、それが融解することにより岩石中に水分が供給されるため、凍結融解の繰り返しによる岩石の破壊は十分起こりうる。ただし、岩石タブレットは比較的亀裂が少ないものを選定しているため、実際にはタブレットのエッジ部分での破壊や表面付近の破損などに影響を与えていると考えられる。一方、不飽和土層の深さ 15 cm や深さ 60 cm や飽和土層では凍結自体が生じていないため、これらの深度に埋設したタブレットは凍結風化の影響を受けず、地上と比較すると物理的風化作用の影響は小さなものになると考えられる。

凍結風化以外の物理的風化作用として、塩類風化、乾湿風化などが考えられる。地上のタブレットについて肉眼で観察した限りでは塩類の析出は見られなかった。化学分析による裏付けはないものの、塩類風化については大きな影響は無いと考えてよいであろう。また、乾湿風化については、土壌水分量のデータが得られた段階で、別稿にて議論する予定である。

3. 化学的風化作用

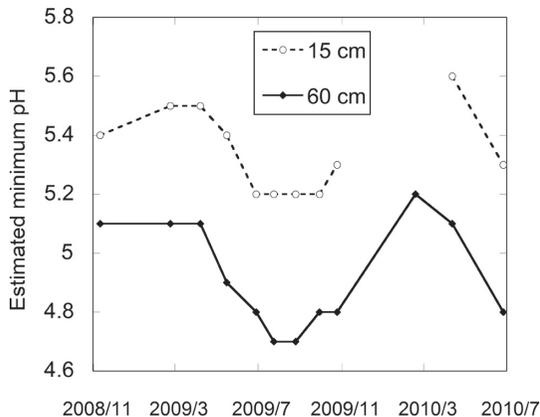
化学的風化作用は水と岩石タブレットが接触することにより進行するため、土壌水分量のデータが最も重要であるが、本稿では水分量以外に化学的風化に影響する要因として、二酸化炭素濃度の

影響について検討する。二酸化炭素は水に溶解すると炭酸となり、その水の pH は低下する。pH の低下は、石灰岩などの炭酸塩岩の溶解や他の鉱物中の Ca, Na などの陽イオンの溶出を促進する。土壌中の微生物活動等で生産された高濃度の二酸化炭素が、地中に浸透した雨水に溶解すれば、pH が低下すると考えられる。そこで、仮に土壌空気中と同じ二酸化炭素濃度条件下に純水を置き二酸化炭素が十分溶解した場合の pH を、濱田・田中 (2002) に提示される以下の式により計算した。

$$\text{pH} = \frac{k_0 + k_1 - \log p\text{CO}_2}{2} \quad (1)$$

ここで、 $k_0 = -\log \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]}{p\text{CO}_2}$ 、 $k_1 = -\log \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]}$ である。これらの定数は、二酸化炭素の水への溶解による炭酸の形成とその解離に関する平衡定数であり、温度に依存する。また、(1) 式では $[\text{HCO}_3^-] = [\text{H}^+]$ を仮定している。この仮定は CO_3^{2-} や OH^- の濃度が極めて小さい条件 ($\text{pH} < 5.6$) において成り立つものである。(1) 式を用いて pH 値を計算するには、まず既存の文献 (本研究では Ford and Williams (2007) の Table 3.6 を参照) より、二酸化炭素濃度測定時の地温から平衡定数 k_0, k_1 を計算する。次に、測定した二酸化炭素濃度 (体積 %) を分圧に換算し、平衡定数の値とともに (1) 式に代入することで、各地点の pH の理論値を求めることができる。ただし、現実には土壌中の鉱物等の陽イオン交換、すなわち土壌中の鉱物の化学的風化等により、土壌水の pH は上記の計算値より高い値を示すことを留意する必要がある (濱田・田中, 2002)。そこで本研究では (1) 式で計算した値を最小 pH 値と呼ぶことにする。

各測定における計算結果を第 5 図に示す。不飽和土層深さ 15 cm の 2010 年 2 月のデータについては、センサーの不調により温度が欠測だったため、ここでは計算していない。よると、夏季、最



第5図 二酸化炭素濃度から推定した地中水のpHの最小値

小pH値は低下し、冬季に上昇する傾向が得られた。深さ15cmでは二酸化炭素濃度が低いため、最小pHは5.6程度の値をとるが、深さ60cmでは二酸化炭素濃度が高く、最小pH値が4.7程度まで低下しうることが推定される。前述の通り、ここで計算したpH値は理論最小値である。この値まで低下するのは、夏季、高濃度の二酸化炭素環境である条件下に、雨水がすばやく浸透し、かつ陽イオン交換が進行していないような理想的な条件に限られる。このような制約はあるものの、深さ60cmに埋められたタブレットは、深さ15cmのタブレットに比べて化学的風化が促進しやすい環境にあることが指摘できる(第5図)。特に酸に対する抵抗力の小さい石灰岩はその影響を受けやすいと考えられる。実際にどの程度化学的風化を進めるポテンシャルがあるかについては、土壌水分の観測結果を含めて検討する必要がある。

V おわりに

本研究では、阿武隈山地のタブレット野外風化実験サイトにおける風化環境を把握することを試み、地温と二酸化炭素濃度に関するデータについて簡単に報告した。観測の結果、(1)地上では凍

結風化が十分に作用する環境にあること、(2)不飽和土層中の2深度と飽和土層中では凍結風化の影響はないと考えられること、(3)土壌中の二酸化炭素濃度は深さ60cmのほうが深さ15cmよりもかなり高く、土壌中のpHをより低下させている可能性があることが明らかとなった。

今後、土壌水分変動の観測結果を解析し、乾湿風化あるいは化学的風化に対する影響を明らかにするとともに、岩石の重量減少速度データと対応させることで、これらの風化環境が8種類の岩石の風化速度にどのように影響しているかについての考察を深めたい。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金(若手研究B、課題番号20070668)「風化・侵食速度が山地小流域の水文地形プロセスにおよぼす影響」(代表:八反地 剛)の補助を受けて実施した。

文献

- 飯田智之・奥西一夫(1979):風化表層土の崩壊による斜面発達について。地理学評論, **52**, 426-438.
- 久保和也・柳沢幸夫・山元孝広・中江 訓・高橋浩・利光誠一・坂野靖行・宮地良典・高橋雅紀・駒澤正夫・大野哲二(2007):20万分の1地質図幅「白河」,産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 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食速度:日南海岸・青島の弥生橋橋脚の侵食速度。地形, **14**, 143-164.
- 八反地 剛・松倉公憲(2007):石灰岩タブレットを用いた野外風化実験:水質が風化速度に与える影響。筑波大学陸域環境研究センター報告, **8**, 41-47.

- 濱田洋平・田中 正 (2002): tensionic 法を用いた土壌水の pH 測定. 水文・水資源学会誌, **15**, 594-604.
- 松倉公憲 (1994): 風化過程におけるロックコントロール: 従来の研究の動向と今後の課題. 地形, **15**, 202-222.
- 松倉公憲 (2008): 「地形変化の科学—風化と侵食—」朝倉書店, 242p.
- 松倉公憲・八反地 剛 (2006): タブレット野外風化実験にまつわるいくつかの問題点. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **7**, 41-51.
- Ford, D. and Williams, P. (2007): *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, Wiley, 562p.
- Hamada, Y. and Tanaka, T. (2001): Dynamics of carbon dioxide in soil profiles based on long-term field observation. *Hydrological Processes*, **15**, 1829-1845.
- Heimsath, A.M., Dietrich, W.E., Nishiizumi, K. and Finkel, R.C. (1997): The soil production function and landscape equilibrium. *Nature*, **388**, 358-361.
- Matsukura, Y., Hattanji, T., Oguchi, C. T. and Hirose, T. (2007): Ten year measurement of weight-loss of rock tablets due to weathering in a forested hillslope of a humid temperate region. *Zeitschrift für Geomorphologie, N.F.*, **51** (Supplementary Issue 1), 27-40.
- Matsukura, Y. and Hirose, T. (1999): Five-year measurement of weight loss of rock tablets due to weathering on a forested hillslope of a humid temperate region. *Engineering Geology*, **55**, 69-76.
- Matsuoka, N. (1990): The rate of bedrock weathering by frost action: field measurements and a predictive model. *Earth Surface Processes and Landforms*, **15**, 73-90.
- Wakatsuki, T. and Matsukura, Y. (2008): Lithological effects in soil formation and soil slips on weathering-limited slopes underlain by granitic bedrocks in Japan. *Catena*, **72**, 153-168.
- (2010年7月27日受付, 2010年10月20日受理)

可搬型簡易自作強制通風式気温計作成マニュアル

Manual of Handmade Field-portable Forced Ventilation Thermometer

村上 雅則*・木村 富士男**

Masanori MURAKAMI* and Fujio KIMURA**

I はじめに

近年、地球温暖化や都市化に関する研究において、AMeDASなどの常時設置の気象観測網では把握の困難な空間詳細な気温分布を得るため、気温の集中観測が盛んに行われるようになった。

気温を正確に観測するには、温度センサーの精度が十分高いことに加えて、温度センサーを観測しようとする大気の温度に極力近付ける必要がある。特に日中における野外観測では、観測精度は前者より後者により大きく左右されることが多い。そこで高精度の気温測定を行うためには、温度センサーに与える放射の影響を最小にする必要がある。放射シールドと強制通風が不可欠である。自然通風式の放射シールドを装備した温度計では、日中には高温バイアスが生じやすいことが指摘されている(近藤, 1982; 浜田, 2000)。しかしながら既製の強制通風式気温計は高額であり、また通風ファンに必要なAC電源の確保も難しいことが多い。

本報告では、安価、かつ、比較的確保が容易であるDC電源用のファンを用いた可搬型簡易自作強制通風式気温計(具体的には温度センサーを除いて5000円以内)作成のためのマニュアルと、比較観測により得られた気温の観測精度を記す。なお、本報告では温度センサーにはT&D社製の

おんどとり Jr. RTR-52 を採用した。

II 製作する測器の概要

通風筒の材料は安価で入手しやすく、加工が容易な塩ビとアルミを利用する。強風時などにモーター側から温度センサー側に空気が逆流することを防ぐため、また温度センサーに直達光が当たることを避けるために吸気・排気口を下向きとした。センサー付近の放射の影響を最小に、また観測する大気の温度に極力近付けるために二重通風構造とした。気温測定の精度保持に十分な通風速度を得るために通風筒の温度センサー側の径を絞る。これにより温度センサー付近において約6 m/sの通風速度を確保することが可能となる(後述)。完成時の大きさは約20 cm × 40 cm × 8 cm、重量は約750 gと1人で容易に持ち運びができるサイズにした。

III 材料と準備

使用した材料と道具は次の通りである。TSエルボ($\phi = 25$ mm)、VPパイプ($\phi = 25$ mm・長さ10 cm)、TS異径ソケット(25 mm × 50 mm)、VU90°エルボ($\phi = 50$ mm)、VUパイプ($\phi = 50$ mm・長さ10 cm)、以上は全て塩ビ製であ

* 筑波大学大学院生命環境科学研究科大学院生

** (独) 海洋研究開発機構

る。アルミパイプ ($\phi = 1.8 \text{ mm}$ ・厚さ 1 mm ・長さ 10 cm)、アルミ板 (縦 27 cm ・横 10 cm ・厚さ 1 mm)、接着剤 (コニシ社製ボンドクイック 5 を推奨)、瞬間接着剤、塩ビ用接着剤、ねじ用弛緩防止剤、ラッカースプレー (つや消し黒色)、なべ小ねじ ($M2 \times 10$ を 3 本) と対応するナット (3 個)、ヒートン (15 mm)、アルミテープ、断熱シート、ドリル ($\phi = 1.5 \text{ mm}$, 2.0 mm)、パテ、もしくは、伸縮テープを準備する。これらはホームセンターで入手可能である。また、オリエンタルモーター社製 DC ファン MD625B-12H (縦 6 cm ・横 6 cm ・高さ 2.5 cm , DC12V・ 0.16A) を準備する。ピンセットやロングペンチがあると作業しやすい。

IV 作成方法

1. 内部塗装

まず III の材料のうち TS エルボ、VP パイプ、TS 異径ソケット、VU パイプ、VU90° エルボの内部を黒色 (つや消しのものを推奨) に塗装する。これは筒内での温度センサーへの乱反射を抑えるためである。

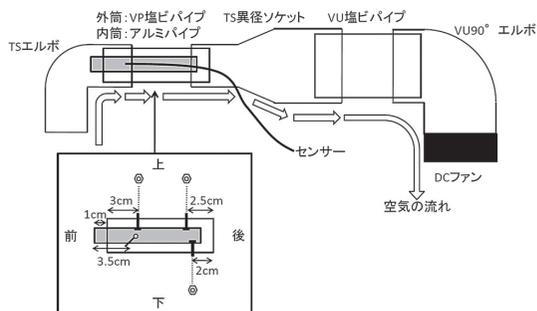
2. DC ファンと VU90° エルボの接着

DC ファンの向きを確認し、風が VU90° エルボから DC ファンに向かうよう DC ファンをエルボに接着する。吸引効率を高めるために、DC ファンと VU90° エルボの間に隙間ができないよう接着剤を塗布する。接着剤は接着力が強く、また高粘性で隙間を埋めやすいコニシ社製ボンドクイック 5 を利用すると良い。

3. 二重通風管の作成

次に VP パイプとアルミパイプを加工する。ねじ穴の位置などは上部・下部・右側・左側を基準として計測する。第 1 図に示すように、まず二重構造を維持するためのねじ穴を、VP パイプの

上部左側 3.0 cm 、上部右側 2.5 cm 、下部右側 2.0 cm 、アルミパイプの上部左側 4.0 cm 、上部右側 1.5 cm 、下部右側 1.0 cm の位置にドリル ($\phi = 2.0 \text{ mm}$) であける。また、アルミパイプの下部左側 3.5 cm の位置には温度センサー固定用のヒートン接着のための穴 ($\phi = 1.5 \text{ mm}$) をあける。この穴に、アルミパイプとヒートンを瞬間接着剤で固定する。次に、ピンセットやロングペンチを使用して、なべ小ねじをアルミパイプの内側から、VP パイプの対応する穴に通し、ナットで固定する。固定の際には、VP パイプとアルミパイプが平行になるように保ち、ナットが緩まないよう、接着剤や弛緩防止剤を併用すると良い。二重通風管の完成時の断面は第 2 図 (温度センサーも装着) のようになる。



第 1 図 測器の構造概略図。パイプの長さは各 10 cm 。灰色で示した内筒はアルミ製。それ以外は塩ビ製。



第 2 図 二重通風管の断面

4. 各パイプの接合

TS 異形ソケットの径が小さい方から 4.0 cm の位置に温度センサー用の穴 ($\phi = 2.0 \text{ mm}$) をあける。

DC ファン・VU90° と TS 異形ソケットを、VU パイプを介することにより接合する。次に、これと TS エルボを、二重通風管を介することにより接合する。接合時に接着剤を用いても良いが、観測時のトラブルに備え、パテや伸縮テープで隙間を埋めることによって固定しておき、分解・点検、場合によってはパーツ交換ができる状況にしておいた方が望ましいと考えられる。

5. 断熱材コーティング

測器の全体を断熱シートで覆い、その上からアルミテープでコーティングする。これは塩ビパイプが日射により温められ温度センサーに影響を及ぼすことを防ぐためである。

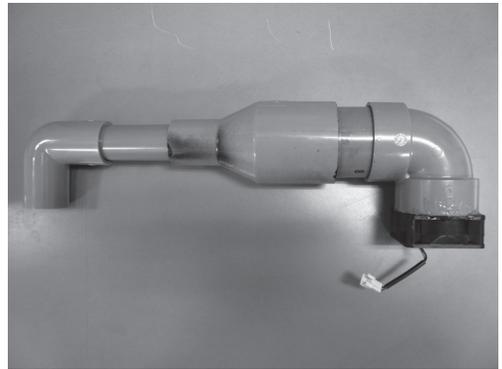
6. ファン排気ダクトの作成

DC ファンの外枠にアルミ板を折り曲げ接着する。これはファンの排気を吸入口から遠ざけ、また、急な雨の際にファンを水から保護するためである。

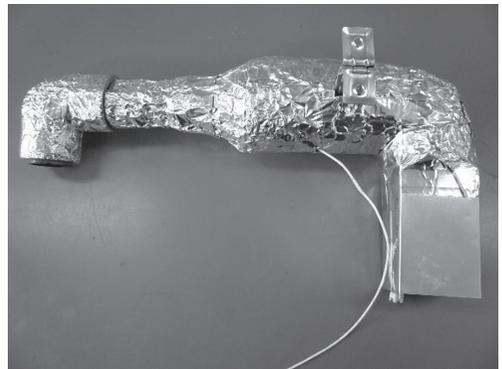
以上により完成である。完成時の外観は第 3 図、第 4 図のようになる。

V 精度の検証

作成した測器内の温度センサー付近の流速を佐藤商事社製の熱線風速計（型式 AM-4204）により計測した。その結果、流速は約 6 m/s であった。AMeDAS 測器が 4～7 m/s であることを考慮しても十分な通風量であると考えられる。さらにオリエンタルモーター社の DC ファンは電圧が下がっても安定した通風量が供給される（図略）。実験の結果、約 10.5 V まで電圧が下がっても、温度センサー付近の風速は約 6 m/s が維持され



第 3 図 測器の外観
(断熱シートコーティング前)



第 4 図 測器完成時の外観

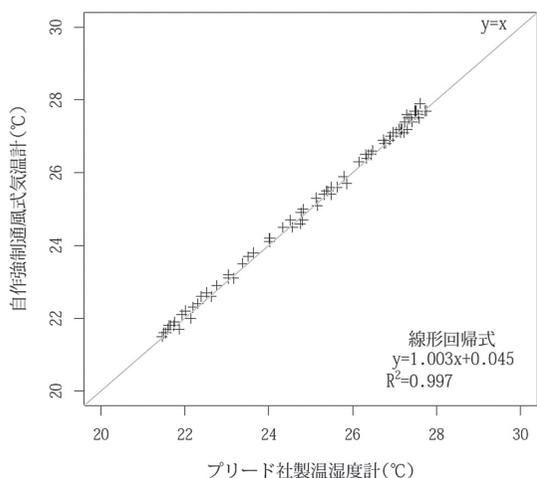
る。これは、PANASONIC 社製 EVOLTA 乾電池単 3 型 8 本の使用で約 12 時間の運転後に相当する。

測器の精度を検証するために、2008 年 7 月 2 日 8 時 30 分から 21 時 40 分まで、筑波大学陸域環境研究センター内圃場において、プリード社製温湿度計（型式 PVC-100）との比較を行った。両者の距離は約 20 cm、高度はいずれも 1.5 m の位置に設置した。サンプリング間隔は 10 秒で、解析には前 10 分の平均値（平均化母数 60）を毎正 10 分値として利用した。検定当日の最寄りの AMeDAS つくばの天気概況は晴時々曇、日照時間は 7.8 時間であった。その結果、プリード社製

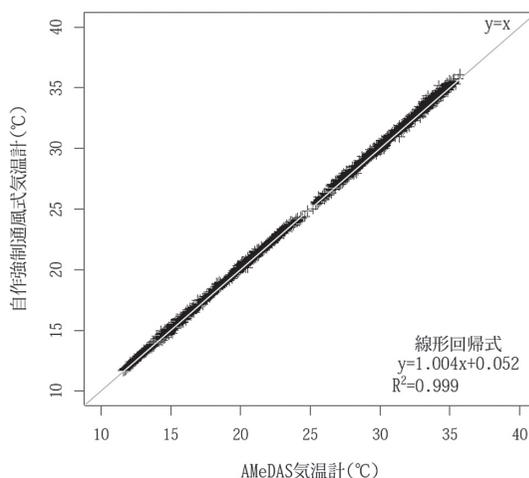
温湿度計と比較して自作測器は日中やや高い気温を示すが、両者の差（自作－プリード社製）の平均は0.08℃、標準偏差は0.11℃であり、非常に良く一致していた（第5図）。

次に、日本を代表するルーティン観測網である AMeDAS 気温との比較を、AMeDAS つくばの露場において 2008 年 8 月 4 日、8 日、15 日、22 日、9 月 12 日に行った。8 月 22 日は終日曇天

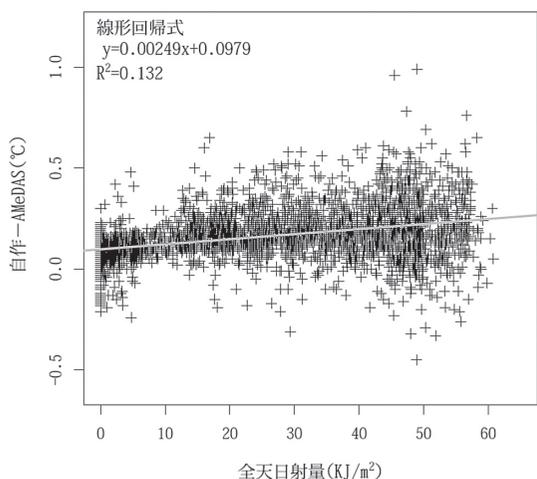
であったが、それ以外の日は概ね晴れ、最高気温は 30℃を超えた。両者の距離は約 2 m、高度はいずれも 1.5 m の位置に設置した。自作測器のサンプリング間隔は 1 秒で、解析には前 1 分の平均値（平均化母数 60）を毎正 1 分値として利用した。また、AMeDAS 気温は毎正 10 秒値から求めた前 1 分の平均値（平均化母数 6）を利用した。その結果、陸域環境研究センターでの検定と同様



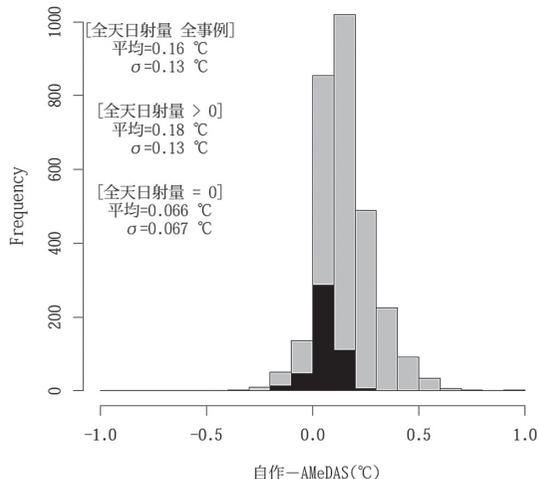
第 5 図 自作測器とプリード社温湿度計との気温を比較した散布図



第 6 図 自作測器と AMeDAS 測器との気温を比較した散布図



第 7 図 自作測器と AMeDAS 測器の気温差と全天日射量を比較した散布図



第 8 図 自作測器と AMeDAS 測器の気温差のヒストグラム

に、日中に自作測器の方がやや高い気温を示すが（図略）、両者の気温は非常に良く一致している（第6図）。また、日中の気温差と、AMeDASつくばの全天日射量1分積算値を比較したところ、全天日射量が大きくなるにつれ、気温差のばらつきが大きくなる傾向が明らかとなった（第7図）。しかし、測器間の気温差と全天日射量の線形回帰式の傾きは非常に小さく、放射の影響が抑えられていることが明らかとなった。両者の差（自作－AMeDAS）の平均は0.16℃、標準偏差は0.13℃であり、全天日射量が0 kJ/m²より大きい事例では、平均は0.18℃、標準偏差は0.13℃、また全天日射量が0 kJ/m²の事例では平均は0.066℃、標準偏差は0.067℃であり、AMeDAS測器との比較にも耐えうる、非常に高い精度であることが明らかとなった（第8図）。

VI まとめと今後の課題

気温を安価に、かつ、正確に測定するために持ち運びが容易な強制通風式気温計を作成した。その精度は既製品、AMeDASと比較して平均で0.2℃以内（標準偏差約0.1℃）と高い精度である。

今後の課題として、二重通風管の構造上、塩ビパイプとアルミパイプの角度が不安定になりやすいので、より安定する構造に再設計すること、および、今回の測器は雨天時の使用を想定していな

いため、雨天時でも使えるよう再設計することの二点が挙げられる。

謝辞

本研究は、オリエンタルモーター株式会社アカデミックサポートのご協力・ご支援をいただきました。また、貴重なご助言をいただいた気象研究所の中川慎治博士、牧 広篤博士、高橋俊二博士、青柳暁典博士、清野直子博士、農業環境技術研究所の桑形恒男博士にはこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

文献

- 近藤純正（1982）：「大気境界層の科学－大気と地球表面の対話」：「気象学のプロムナード4」東京堂出版，219p.
- 近藤純正（2006）：近藤純正ホームページ 研究の指針 K16. 気温の観測方法. <http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke16.html>（2010.6.30 閲覧）
- 浜田 崇（2000）：「身近な気象・気候調査の基礎」，牛山素行編，古今書院，200p.
- （2010年9月30日受付，2010年11月18日受理）

熱収支・水収支観測資料 - 2009 年 -

Observational Data of Heat Balance and Water Balance
- 2009 -

鈴木 智恵子*・岩上 翔*・山中 勤*

Chieko SUZUKI*, Sho IWAGAMI* 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(TERC)の直径160m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、2009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。

本資料に掲載した日平均値および日積算値は、取得された生データのうちの1時間平均値(あるいは積算値)を用いて、簡単なクオリティチェックを施した後、1日分24データの平均(積算)値として算出した。この時、欠測でないデータが20個未満であった場合は、その日平均(積算)値は欠測とした。また、欠測でないデータが20個以上24個未満であった場合は、準完全値とした。

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。2009年は2月17日に行った。また、10月17~18日は停電のため、日中は予備電源につなぎかえて観測を行った。圃場内の草刈りは、2005年より夏季、冬季の年2

回実施している。2009年は7月14~15日と10月17~19日、11月4日に行われた。

II 観測要素および観測測器の説明

1. 風向: Wind Direction

観測用鉄塔の高度29.5m南東側に設置された、超音波風速温度計(本体DA-650,プローブTR-61A,カイジョーソニック)によって測定されている。値は正時の10分間平均値である。

本資料では、風向データは16方位に変換し、風向別頻度としてまとめた。この際、風速が0.2m/s以下であれば静穏(calm)と判定した。

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1.6mおよび29.5m、単位はm/sである。

1997年8月1日以降、高度29.5m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

* 筑波大学陸域環境研究センター

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 1.6 m 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。2009 年は、3 月 24 日に北西のもの（高度 1.6 m）を南東に移動させ、11 月 24 日に南東のものを北西に移動させた。

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

2008 年 11 月 29 日以降、29.5 m 南東側に設置された超音波風速温度計の垂直風速が計れなくなり、データ不良が続いていた（大庭ほか、2009）が、2009 年 1 月 21 日に新しいプローブと接続箱への交換が行われた。

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 $\times 0.1 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{m}/\text{s}$ 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 1.6 m および 29.5 m 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 (MF-402F, 英弘精機) を地表面から高度 1.5 m 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 (CN-11, 英弘精機) を地表面から高度 1.5 m 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 (CPR-PHF-01, クリマテック) によって得られた日平均値で、測定深度は地表面から 2 cm である。単位は W/m^2 である。

8. 日照時間：Sunshine Duration

研究棟の屋上に設置した回転式日照計 (MS-091, 英弘精機) によって得られた日積算値で、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温湿度計 (CVS-HMP45D, クリマテック) の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 1.6 m, 12.3 m および 29.5 m, 単位は $^\circ\text{C}$ である。

10. 地温：Soil Temperature

直径 10 mm, 長さ 15 cm の防水型白金抵抗温度計 (C-PTG-10, クリマテック) 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 2 cm (ST-1), 10 cm (ST-2), 50 cm (ST-3) および 100 cm (ST-4) であり、単位は $^\circ\text{C}$ である。センサーは深度 1 m の穴の側壁に地表面と平行に挿入し、埋土した。

11. 地下水位：Ground Water Level

水圧式水位計によって測定された、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。測定深度は、10.0 m 深 (GW-2, スクリーン深度は 8 ~ 9m) と新 2.0 m 深 (GW-4, 同 0.5 ~ 2 m) の 2 種類である。GW-4 はほとんどの時期で水面が 2 m よりも低くなっており、欠測としている。GW-2 も一時欠測が続いていたが、2009 年 4 月 22 日に新しいセンサー (M86H-10, メテオ電子) への交換が行われた。

12. 露点温度 : Dew-point Temperature

観測用鉄塔の北東側に取り付けられた通風式温湿度計 (CVS-HMP45D, クリマテック) の静電容量式高分子膜センサーによって得られた相対湿度より算出さ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。露点温度 T_d [℃] は新温湿度センサーの温度 T [℃]・相対湿度 RH [%] から、以下のように求める。

$$T_d = \frac{b \times \log_{10}(e/6.11)}{a - \log_{10}(e/6.11)}$$

ここで、 e は水蒸気圧 [hPa] であり、

$$e = es \times RH / 100$$

である。 es は飽和水蒸気圧 [hPa] であり、Tetens の近似式

$$es = 6.11 \times 10^{aT/(b+T)}$$

より求めた。係数 a , b は水面上での値 ($a=7.5$, $b=237.3$) を用いた。

13. 降水量 : Precipitation

1 転倒 0.5 mm, 受水口直径 20 cm の転倒ます型隔測自記雨量計 (WB0013-05, 横河電子機器) によって得られた日積算値で、単位は mm (水深換算) である。

14. 気圧 : Atmospheric Pressure

観測用鉄塔直下の計測ボックス内に設置された気圧計 (PTB210 : ヴァイサラ) によって測定さ

れた。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 (渡来・山中, 2006 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 2009 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 TERC 熱収支・水収支データベース (<http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/databasehtml/database/>) 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。2003 年以前のデータの収録・処理方法については鳥谷ほか (1989) を、1987 年以前のデータの収録・処理方法については古藤田ほか (1983) を参照されたい。

なお、2005 年までの 24 年余にわたるルーチン観測データは、Ver. 2.0 データという形でクオリティコントロールがなされ、各観測要素の気候値が算出されている。その結果は、「TERC 熱収支・水収支観測データベース図表集」(渡来ほか, 2006) としてまとめられており、2007 年以降ホームページで公開している。

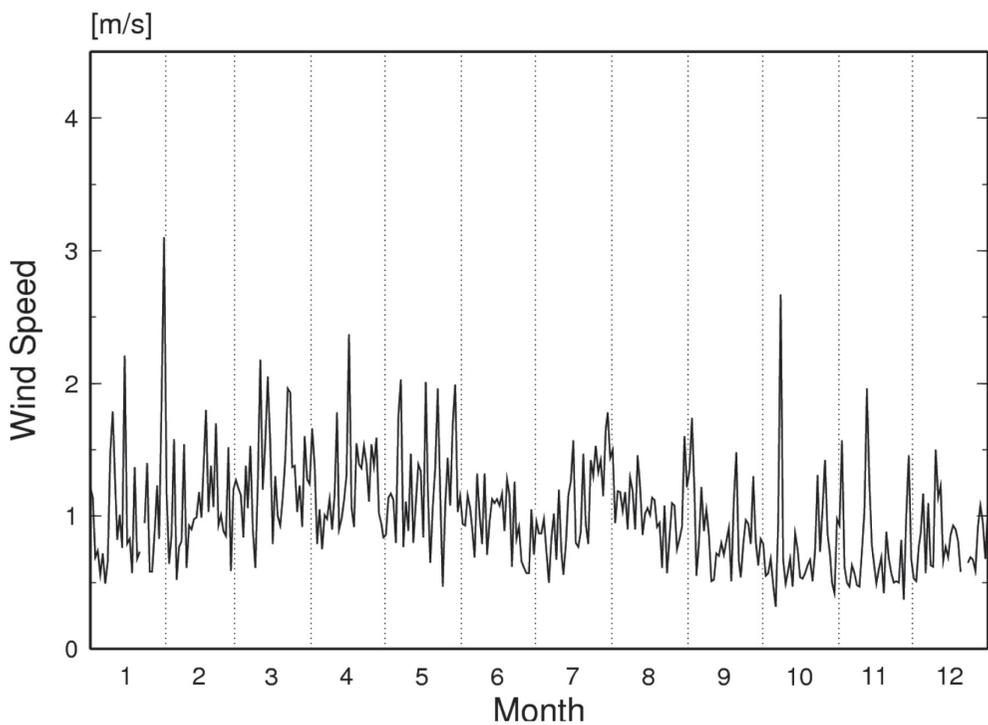
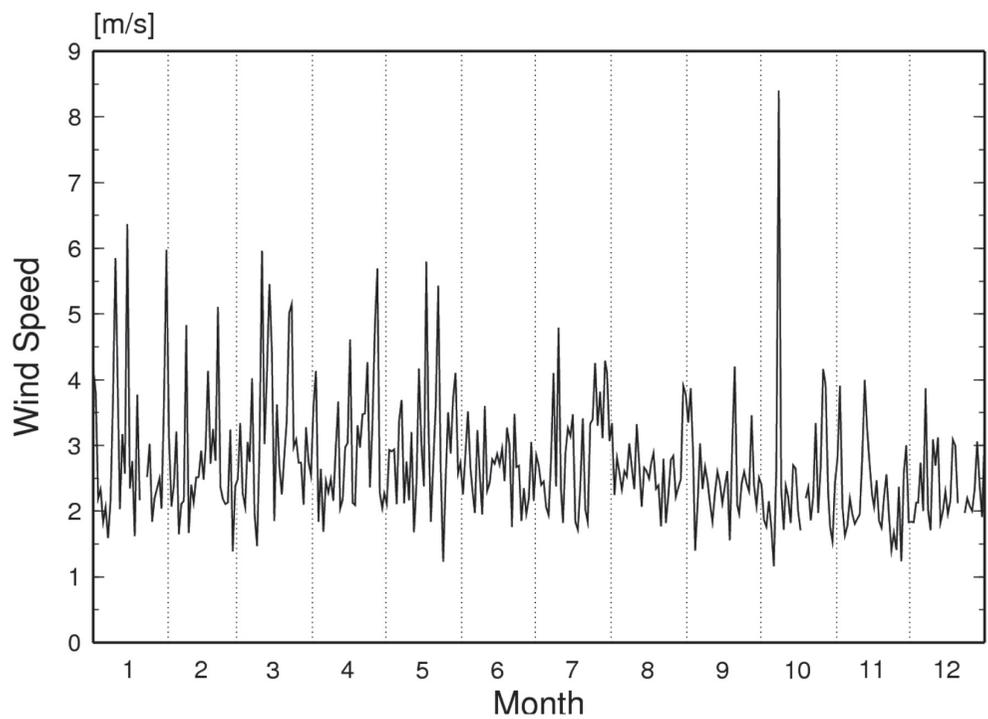
文献

- 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.
- 大庭雅道・濱田洋平・山中 勤 (2009): 熱収支・水収支観測資料－2008年－. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 83-108.
- 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.
- 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.
- 渡来 靖・藪崎志穂・山中 勤 (2006): TERC熱収支・水収支観測データベース図表集. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **7** 別冊, 97p.
- 渡来 靖・山中 勤 (2006): 熱収支・水収支観測資料－2005年－. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **7**, 99-124.

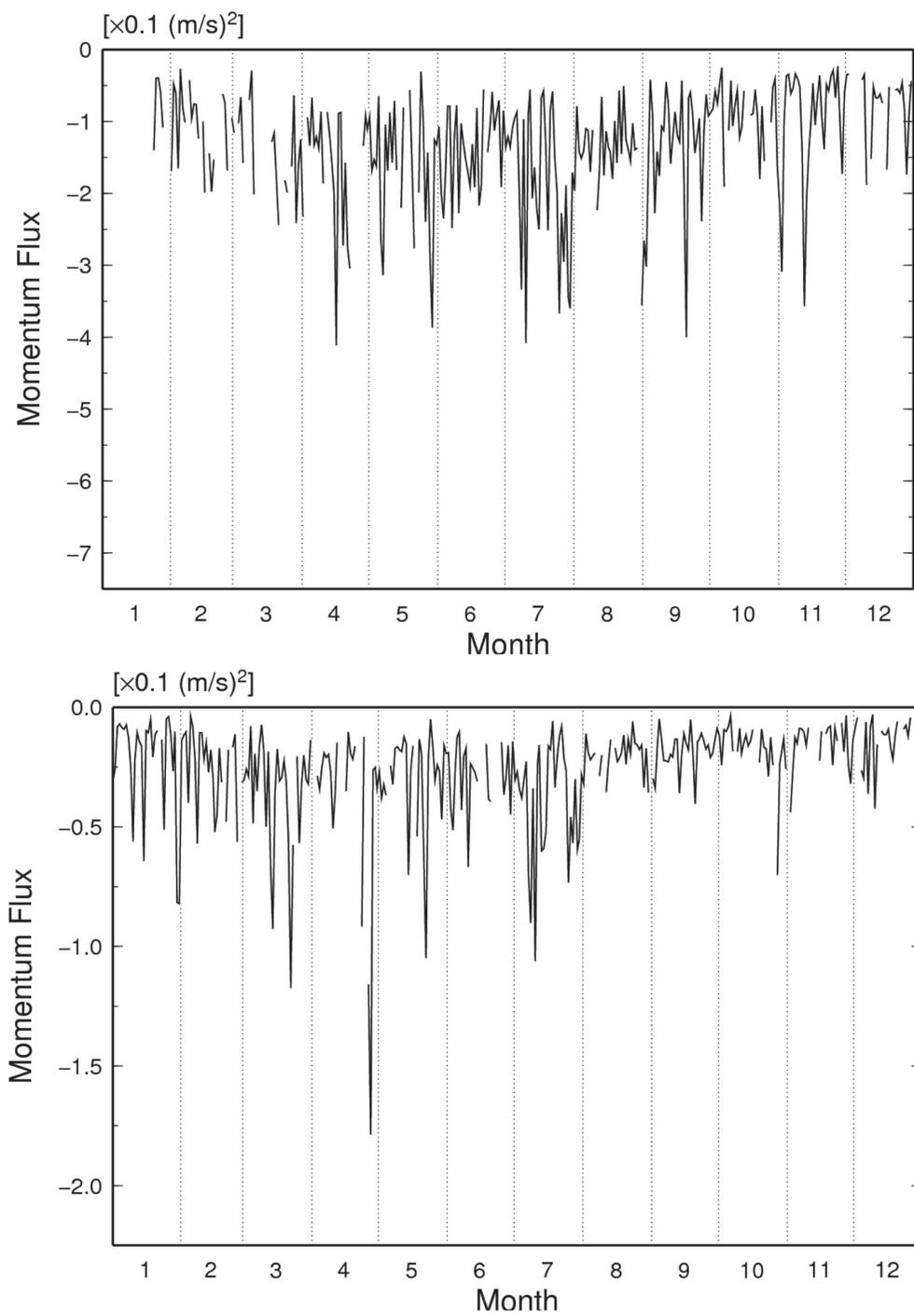
気象・水文表

表の見方

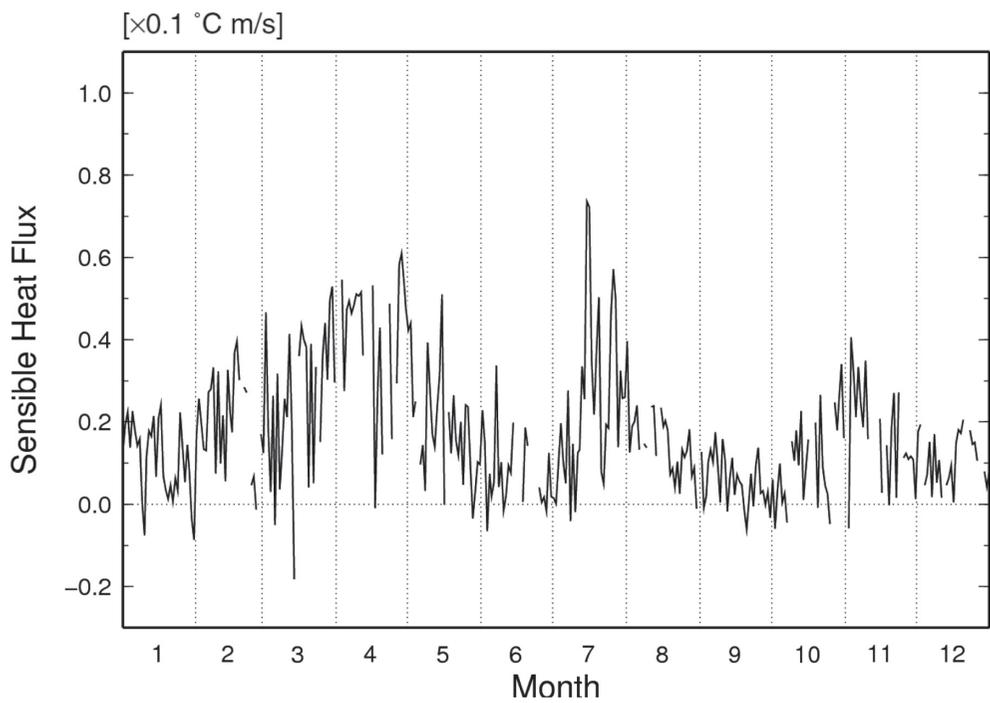
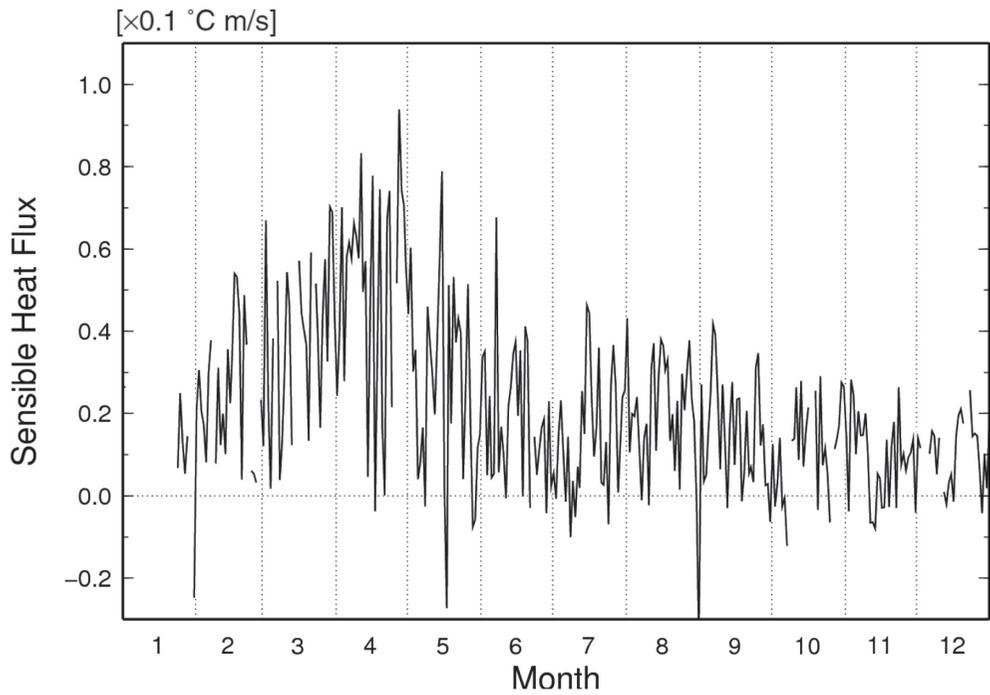
- (1) ITEM は観測要素, INSTRUMENT は観測測器を示す.
- (2) UNIT に関して, MONTHLY FREQUENCY は月毎の頻度を示す.
- (3) 表の横軸は月, 縦軸は日である.
- (4) 1日24データ中(データ識別160), 20個未満の日は欠測「***」,
データが20個以上24個未満は準完全値「*」とする.
「・・・」は対応する日がないことを示す.
- (5) CALM は静穏, NO DATA は欠測頻度を示す.
- (6) MEAN は月平均値, TOTAL は月積算値を示す.



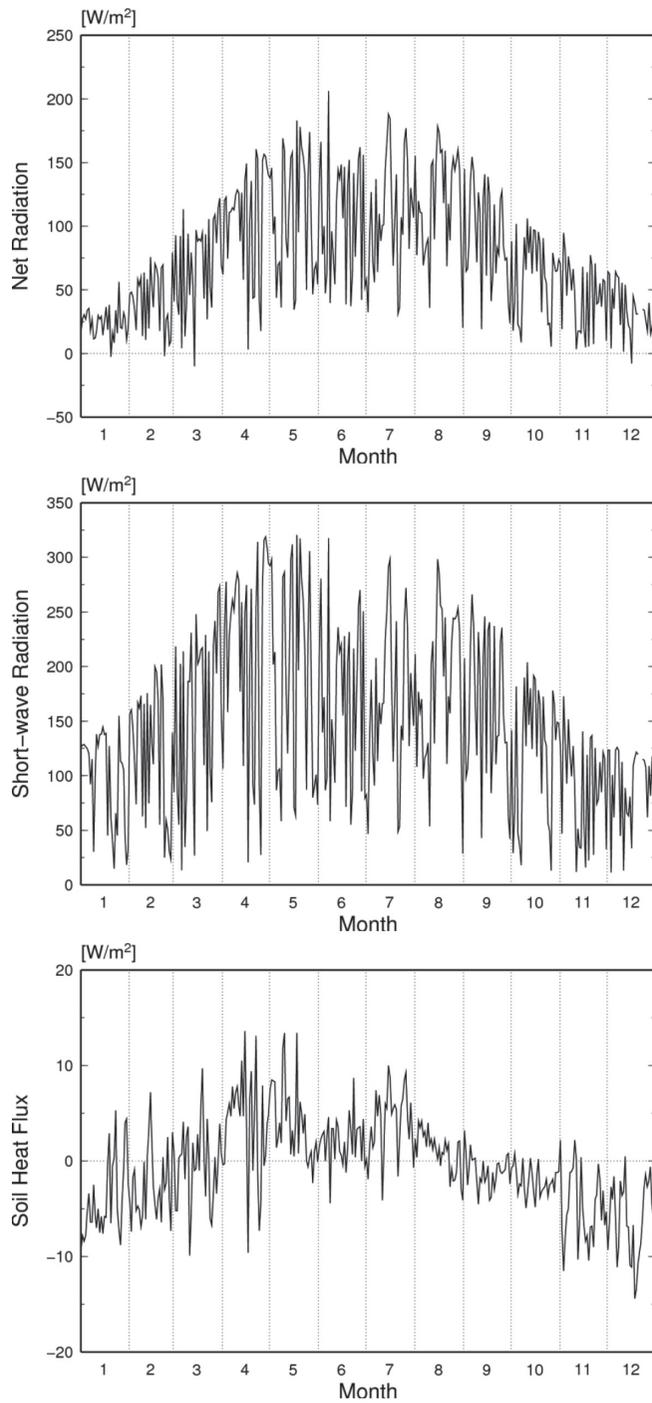
第1図 測定高度 29.5 m (上図), および 1.6 m (下図) における風速の日平均値の季節変化



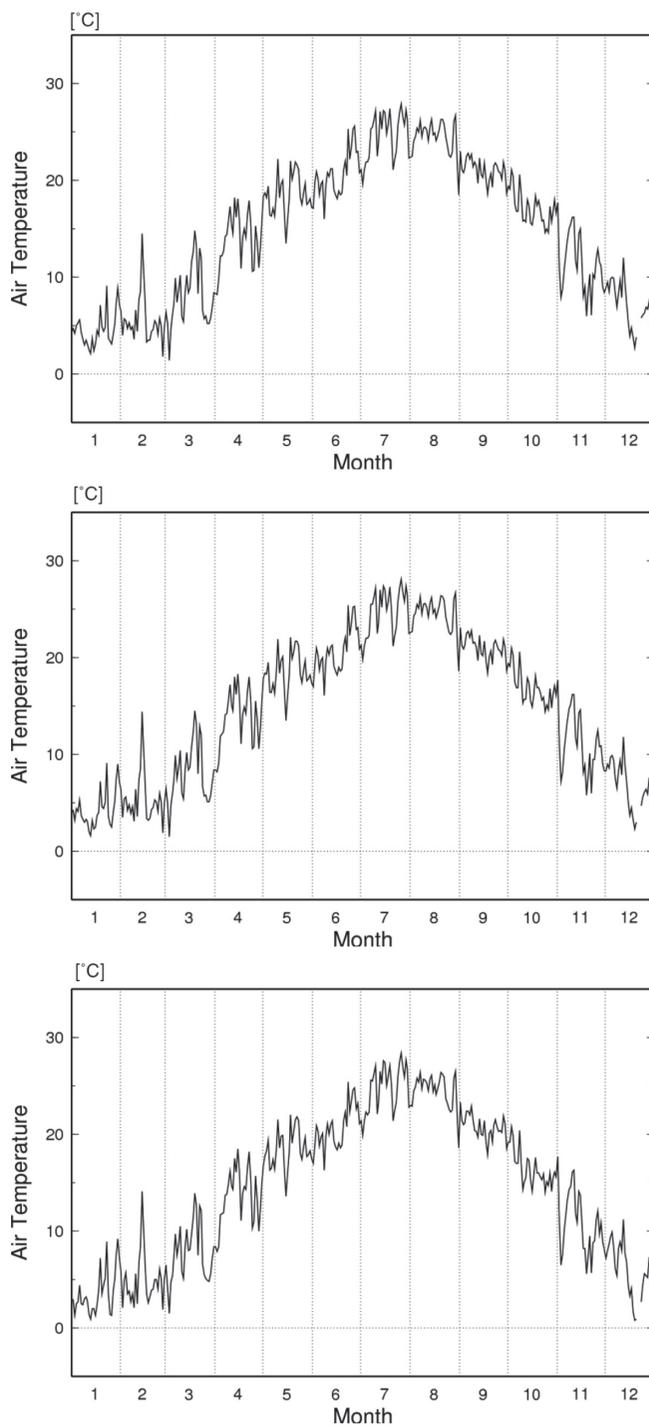
第2図 測定高度 29.5 m (上図), および 1.6 m (下図) における運動量フラックスの日平均値の季節変化



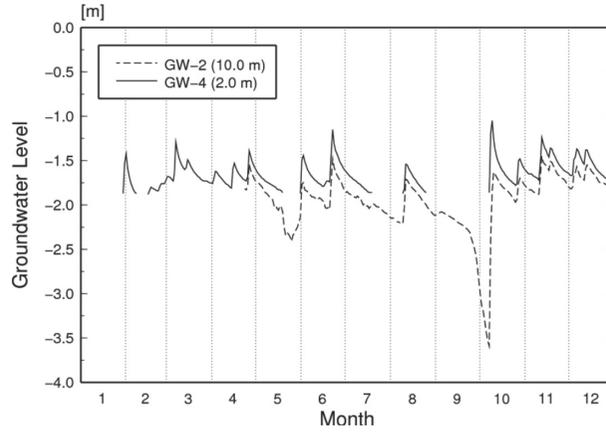
第3図 測定高度 29.5 m (上図), および 1.6 m (下図) における顕熱フラックスの日平均値の季節変化



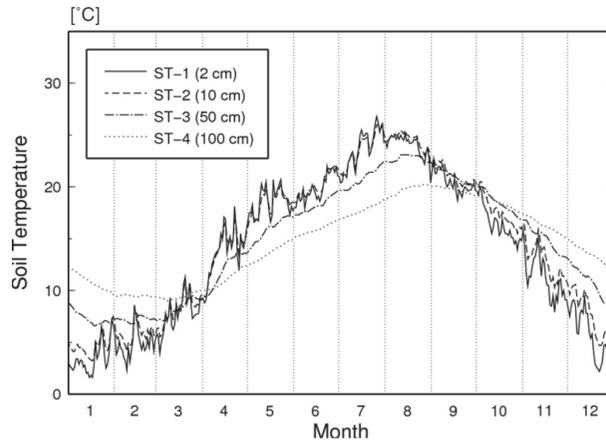
第4図 正味放射量（上図），全天短波放射量（中図），および地中熱流量（下図）の日平均値の季節変化



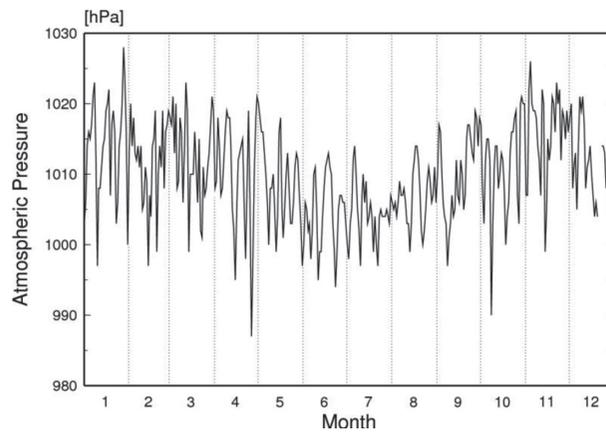
第5図 測定高度 29.5 m (上図), 12.3 m (中図), および 1.6 m (下図) における気温の日平均値の季節変化



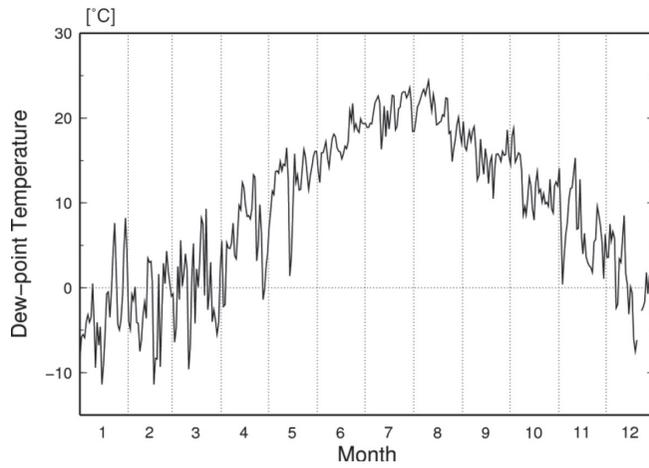
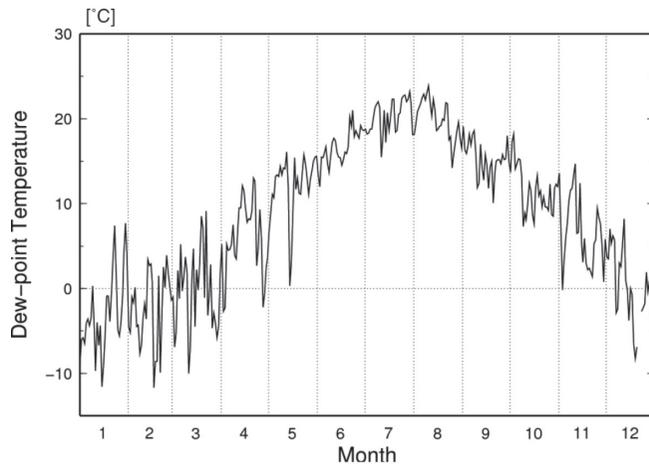
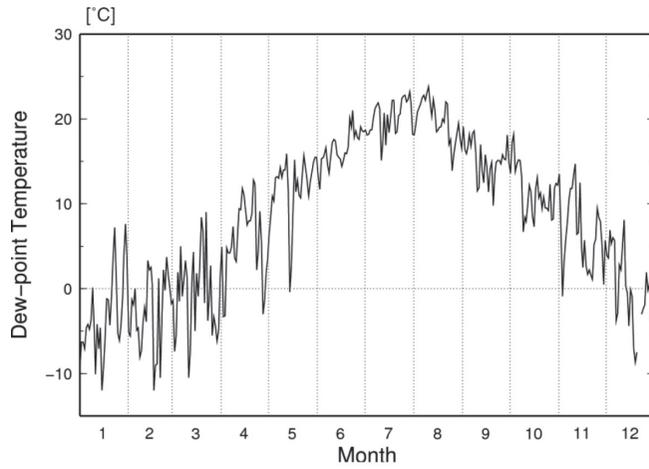
第6図 2 深度（10 m，新 2.0 m）の観測井における地下水位の日平均値の季節変化



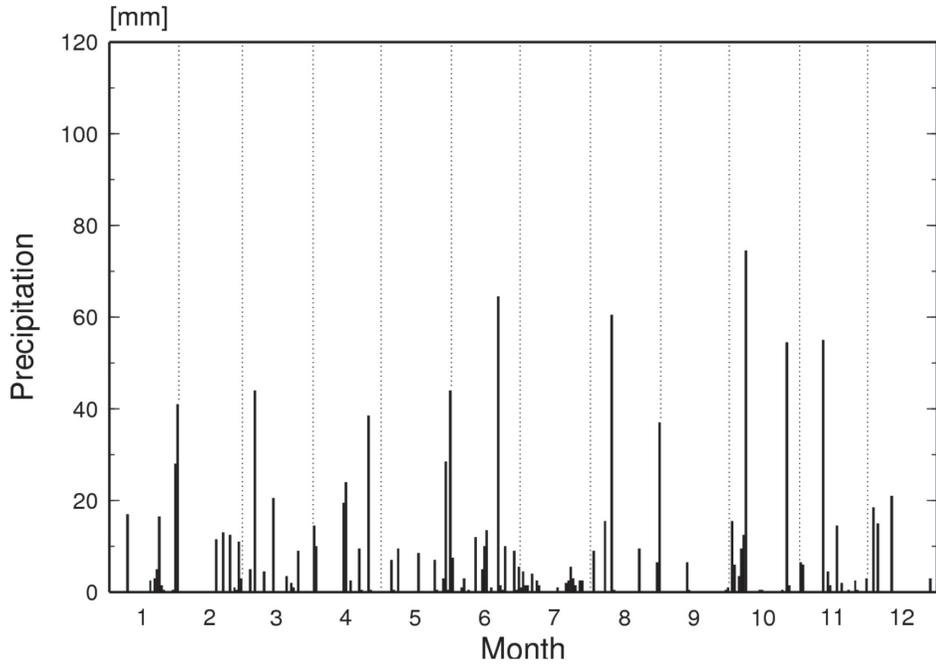
第7図 4 深度（2 cm，10 cm，50 cm，100 cm）における地温の日平均値の季節変化



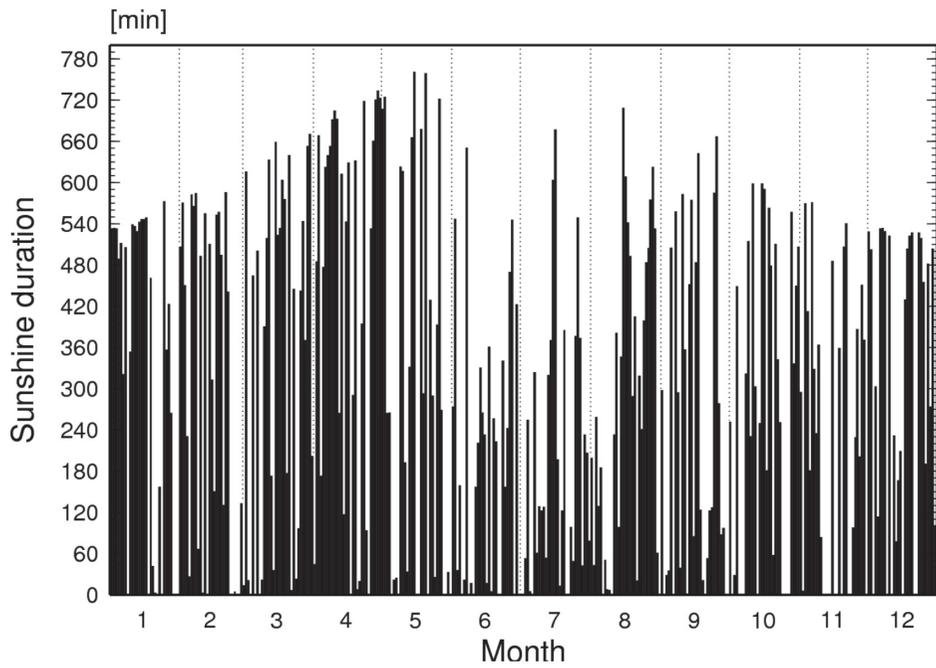
第8図 気圧の日平均値の季節変化



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 日照時間の日積算値の季節変化

ITEM WIND DIRECTION (29.5m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DA-650, TR-61A)
 UNIT MONTHLY FREQUENCY
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	17	20	25	20	17	16	11	20	23	44	33	27
NNE	21	15	19	10	21	15	7	28	34	40	38	13
NE	27	43	26	39	96	21	15	59	104	71	38	30
ENE	58	89	66	109	73	107	110	179	196	103	96	72
E	43	62	100	114	151	200	181	202	113	90	67	35
ESE	27	42	62	51	85	102	70	74	48	51	25	28
SE	12	19	13	31	27	36	23	21	13	17	2	15
SSE	9	9	7	28	31	26	20	25	14	6	8	11
S	14	8	29	28	46	48	62	24	11	24	8	15
SSW	15	19	49	38	95	53	155	25	10	20	21	23
SW	15	13	21	26	15	11	47	6	8	22	16	24
WSW	34	25	24	33	13	12	17	7	14	17	25	38
W	71	53	51	40	15	19	9	6	23	31	43	56
WNW	148	110	96	73	12	19	4	15	28	70	119	142
NW	173	99	95	48	26	10	6	27	54	79	129	127
NNW	57	46	61	32	21	25	7	26	27	58	52	61
NO DATA	3									1		27

ITEM WIND SPEED (1.6 m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DA-650, TR-61A)
 UNIT (m/s)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.2	1.2	1.3	1.7	0.9	0.9	1.0	1.5	1.4	0.8	0.9	0.5
2	1.1	0.6	1.2	1.4	1.1	0.9	0.9	0.9	1.7	0.6	1.6	0.5
3	0.7	0.9	1.2	0.8	1.2	1.2	0.9	1.2	1.2	0.6	0.6	0.8
4	0.7	1.6	0.8	1.1	1.1	1.1	1.0	1.2	0.5	0.7	0.5	0.9
5	0.6	0.5	1.4	0.8	0.8	0.9	0.7	1.0	0.8	0.5	0.5	1.2
6	0.7	0.8	1.1	1.0	1.8	0.7	0.5	1.2	1.2	0.3	0.6	0.6
7	0.5	0.8	1.5	1.0	2.0	1.3	0.8	0.9	0.9	0.9	0.6	1.1
8	0.7	1.5	0.9	1.1	0.8	1.0	1.0	1.3	1.1	2.7	0.5	0.6
9	1.5	0.6	0.6	0.9	1.1	0.8	0.7	1.2	0.9	0.7	0.5	0.6
10	1.8	0.9	1.2	1.2	0.9	1.3	1.2	0.9	0.5	0.5	0.7	1.5
11	1.3	0.9	2.2	1.8	1.5	0.7	0.7	1.5	0.5	0.6	1.0	1.1
12	0.8	1.0	1.2	0.9	0.8	1.0	0.6	1.2	0.7	0.7	2.0	1.2
13	1.0	1.0	1.6	1.0	1.1	1.1	0.8	0.9	0.7	0.5	1.2	0.7
14	0.8	1.2	2.0	1.1	1.4	1.1	1.2	1.0	0.8	0.9	0.8	0.8
15	2.2	1.0	1.5	1.3	1.3	1.1	1.3	1.1	0.7	0.8	0.6	0.7
16	0.8	1.4	0.8	2.4	0.8	1.1	1.6	1.0	0.8	0.5	0.5	0.9
17	0.8	1.8	1.3	1.1	2.0	1.2	0.8	1.1	0.9	0.5	0.6	0.9
18	0.6	1.0	1.0	0.9	1.2	0.9	0.8	1.1	0.5	0.6	0.7	0.9
19	1.4	1.4	0.9	1.6	0.7	1.3	0.9	0.9	1.1	0.6	0.4	0.8
20	0.7	1.1	1.1	1.4	1.1	1.2	1.5	1.0	1.5	0.7	0.9	0.6
21	0.7	1.7	1.4	1.4	1.4	0.6	0.9	0.6	0.7	0.5	0.7	***
22	* 0.9	0.9	2.0	1.5	2.0	1.3	0.8	1.1	0.5	0.7	0.6	***
23	1.0	1.0	1.9	1.4	1.2	0.8	1.4	0.6	0.8	1.3	0.5	0.6
24	1.4	0.9	1.4	1.1	0.5	0.9	1.3	0.8	1.0	0.7	0.5	0.7
25	0.6	0.9	1.4	1.5	1.1	0.7	1.5	1.1	0.9	1.0	0.5	0.7
26	0.6	1.5	1.0	1.4	1.4	0.6	1.3	1.1	0.8	1.4	0.8	0.6
27	0.9	0.6	1.2	1.6	1.1	0.6	1.4	0.8	1.3	0.9	0.4	0.9
28	1.2	1.2	0.9	1.0	1.7	0.6	1.2	0.8	0.8	0.7	1.0	1.1
29	0.8	. . .	1.6	0.9	2.0	1.0	1.7	0.9	0.6	0.5	1.5	0.9
30	1.9	. . .	1.3	0.8	1.0	0.7	1.8	1.6	0.8	0.4	0.7	0.7
31	3.1	. . .	1.2	. . .	1.2	. . .	1.4	1.2	. . .	1.0	. . .	1.1
MEAN	1.1	1.1	1.3	1.2	1.2	1.0	1.1	1.1	0.9	0.8	0.8	0.8

ITEM WIND SPEED (29.5 m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DA-650, TR-61A)
 UNIT (m/s)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4.2	3.1	2.5	3.6	2.1	2.3	2.9	3.3	3.3	2.4	2.8	1.8
2	3.8	2.1	3.3	4.1	2.9	2.9	2.7	2.3	3.9	1.9	3.9	1.8
3	2.2	2.4	2.3	1.8	2.9	3.5	2.4	2.8	2.9	1.8	2.1	2.1
4	2.3	3.2	2.1	2.6	2.9	2.7	2.5	2.6	1.4	2.2	1.6	2.1
5	1.8	1.7	3.1	1.7	2.1	2.3	2.1	2.3	2.1	1.7	1.8	2.7
6	2.1	2.1	2.8	2.5	3.4	2.0	1.9	2.6	3.0	1.2	2.2	2.0
7	1.6	2.2	4.0	2.3	3.7	3.2	2.8	2.5	2.3	2.7	2.0	3.9
8	2.2	4.8	2.0	2.5	2.1	2.5	4.1	3.0	2.7	8.4	1.8	2.0
9	3.7	1.7	1.5	2.2	2.7	1.9	2.4	2.7	2.5	2.3	1.9	1.7
10	5.8	2.4	3.0	3.0	2.2	3.6	4.8	2.3	2.1	1.7	2.0	3.1
11	4.1	2.1	6.0	3.7	3.2	2.3	2.3	3.3	1.8	2.4	2.8	2.7
12	2.0	2.5	3.0	2.0	1.7	2.4	1.8	2.7	2.3	2.2	4.0	3.1
13	3.2	2.5	4.1	2.2	2.4	2.8	2.9	2.1	2.6	1.8	3.3	1.8
14	2.6	2.9	5.5	3.0	4.2	2.7	3.3	2.7	2.4	2.7	2.7	2.0
15	6.4	2.5	4.4	3.0	3.0	2.9	3.1	2.6	2.1	2.6	2.2	2.3
16	2.3	2.9	1.8	4.6	2.4	2.7	3.5	2.5	2.4	2.0	2.1	2.0
17	2.8	4.1	3.6	2.1	5.8	2.9	1.8	2.7	2.6	1.7	2.5	2.2
18	1.6	2.7	2.7	2.1	3.4	2.5	1.7	2.9	1.6	* 1.8	1.9	3.1
19	3.8	3.2	2.3	3.3	1.8	3.3	2.4	2.3	3.0	2.2	1.8	3.0
20	2.2	2.8	2.8	3.0	2.7	3.0	3.4	2.4	4.2	2.4	2.2	2.1
21	* 1.8	5.1	3.4	3.5	3.6	1.8	2.0	1.8	2.1	1.9	2.6	***
22	* 2.1	2.4	5.0	3.5	5.4	3.5	1.8	2.8	2.0	2.2	1.9	***
23	2.5	2.2	5.1	4.3	2.7	2.7	3.3	1.8	2.4	3.3	1.4	2.0
24	3.0	2.1	3.0	2.4	1.2	2.7	3.4	2.3	2.6	2.0	1.7	2.2
25	1.8	2.1	3.1	3.3	2.5	1.8	4.3	2.8	2.4	2.7	1.4	2.1
26	2.2	3.2	2.7	4.8	3.5	2.3	3.3	2.8	2.3	4.2	2.4	2.0
27	2.4	1.4	2.7	5.7	2.9	2.0	3.8	2.2	3.5	3.9	1.2	2.3
28	2.5	2.4	2.1	2.3	3.7	2.2	3.1	2.4	2.4	2.3	2.6	3.1
29	2.0	* * *	3.3	2.0	4.1	3.0	4.3	2.5	2.1	1.8	3.0	2.4
30	3.7	* * *	2.7	2.3	2.6	2.2	4.1	3.9	2.5	1.5	1.8	1.9
31	6.0	* * *	2.5	* * *	2.7	* * *	3.1	3.8	* * *	2.4	* * *	3.2
MEAN	2.9	2.7	3.2	3.0	3.0	2.6	2.9	2.6	2.5	2.5	2.2	2.4

ITEM MOMENTUM FLUX (1.6 m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DA-650, TR-61A)
 UNIT x 0.1 (m/s)²
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-0.309	-0.141	-0.304	* -0.173	-0.269	-0.189	-0.303	-0.321	-0.299	-0.120	* -0.472	-0.086
2	-0.256	-0.117	-0.258	* -0.690	-0.378	-0.423	-0.270	-0.111	-0.340	-0.241	-0.438	-0.044
3	-0.082	-0.104	-0.288	* -0.286	-0.323	-0.513	-0.344	-0.190	-0.153	-0.094	-0.275	* -0.061
4	-0.069	-0.400	-0.078	-0.343	-0.367	-0.256	-0.379	-0.220	-0.049	-0.102	-0.125	-0.265
5	-0.085	-0.037	-0.486	-0.253	* -0.058	-0.126	-0.303	-0.204	-0.129	-0.080	-0.152	-0.297
6	-0.091	-0.080	-0.195	-0.191	-0.244	-0.103	-0.226	-0.191	-0.223	-0.035	-0.089	-0.061
7	-0.073	-0.215	-0.350	-0.210	-0.323	-0.429	-0.697	* -0.222	-0.224	-0.184	-0.090	-0.362
8	-0.127	-0.570	-0.166	-0.197	-0.173	-0.204	-0.901	-0.287	-0.229	* -3.051	-0.103	-0.083
9	-0.259	-0.106	-0.073	-0.272	-0.165	-0.171	-0.340	-0.201	-0.196	-0.185	-0.160	-0.030
10	-0.561	-0.107	-0.185	-0.506	-0.178	-0.668	-1.062	***	-0.208	-0.089	-0.087	-0.424
11	-0.223	-0.218	-0.498	-0.351	-0.185	-0.237	-0.240	-0.354	-0.134	-0.195	***	-0.156
12	-0.105	-0.149	-0.185	-0.149	-0.123	-0.254	-0.157	-0.229	-0.133	-0.150	-0.344	* -0.148
13	-0.143	-0.272	-0.656	* -0.318	-0.152	-0.272	-0.600	-0.135	-0.358	-0.117	* -0.323	-0.100
14	-0.163	-0.179	-0.927	* -0.330	-0.702	-0.309	-0.591	* -0.222	-0.195	-0.161	* -0.283	-0.115
15	-0.644	-0.298	-0.359	***	-0.263	* -0.341	-0.522	-0.171	-0.110	-0.143	-0.224	-0.114
16	-0.097	-0.522	-0.174	-0.350	-0.162	* -0.182	-0.162	-0.226	-0.152	-0.094	-0.102	-0.091
17	-0.107	-0.449	-0.307	-0.104	* -1.116	* -0.355	-0.176	-0.213	-0.179	* -0.121	* -0.122	-0.168
18	-0.053	-0.170	-0.295	-0.194	-0.540	-0.154	-0.058	-0.191	-0.053	* -0.142	-0.110	-0.217
19	-0.208	-0.313	-0.224	-0.217	-0.134	-0.385	-0.335	-0.117	-0.190	-0.231	-0.087	-0.120
20	-0.114	* -0.185	-0.310	-0.164	-0.195	-0.394	-0.208	-0.239	-0.403	-0.092	-0.078	-0.060
21	-0.098	-0.479	-0.566	* -0.236	-0.611	* -0.079	-0.120	-0.134	-0.144	-0.167	-0.241	***
22	* -0.087	-0.178	-1.174	* -0.259	-1.049	* -0.286	-0.079	-0.195	-0.135	-0.175	-0.087	***
23	-0.135	* -0.170	-0.576	* -0.917	-0.224	* -0.466	-0.214	-0.060	-0.109	-0.288	-0.140	-0.091
24	-0.511	-0.166	* -0.281	-0.124	-0.050	* -0.255	-0.264	-0.150	-0.139	-0.125	* -0.092	-0.075
25	-0.049	-0.113	-0.206	***	-0.161	-0.147	-0.733	-0.158	-0.174	-0.241	-0.066	-0.122
26	-0.040	-0.562	-0.569	-1.158	-0.305	-0.366	-0.459	-0.176	-0.158	***	-0.186	-0.044
27	-0.113	***	-0.320	-1.786	-0.242	-0.297	-0.569	-0.157	-0.210	-0.702	-0.034	* -0.388
28	-0.266	-0.313	-0.201	-0.263	-0.266	-0.160	-0.300	-0.336	-0.192	-0.236	-0.242	* -0.203
29	-0.102	* * *	-0.301	-0.251	-0.469	-0.449	-0.597	-0.173	-0.136	-0.192	-0.318	-0.187
30	-0.816	* * *	-0.321	-0.340	-0.159	-0.143	-0.556	-0.357	-0.089	-0.134	-0.138	-0.068
31	-0.821	* * *	-0.136	* * *	-0.193	* * *	-0.282	***	* * *	-0.259	* * *	-0.188
MEAN	-0.220	-0.245	-0.354	-0.380	-0.315	-0.287	-0.389	-0.205	-0.181	-0.272	-0.180	-0.151

ITEM MOMENTUM FLUX (29.5 m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DA-650, TR-61A)
 UNIT x 0.1 (m/s)²
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	* -2.676	-1.686	-1.157	-2.325	-0.933	-1.067	-1.364	-1.962	-2.658	-0.877	-2.161	-0.342
2	* -2.241	-0.482	* -1.842	* -3.875	-1.684	-2.006	-1.212	-0.790	-3.020	-0.828	-3.086	-0.341
3	* -0.757	-0.608	-1.028	-0.942	-1.529	-2.352	-1.355	-1.418	-1.501	-0.575	-1.009	***
4	* -0.966	-1.650	-0.663	-1.338	-1.622	-1.622	-1.096	-1.512	-0.417	-0.748	-0.369	* -0.848
5	***	-0.271	-1.578	-0.670	-0.653	-0.789	-0.947	-1.412	-0.911	-0.474	-0.341	* -1.249
6	***	-0.798	* -1.218	-1.325	-2.631	-0.786	-0.869	-1.099	-2.275	-0.253	-0.610	-0.413
7	***	-1.013	***	-1.213	-3.137	-2.481	-1.927	-1.125	-1.416	-1.909	-0.534	* -1.623
8	***	***	-0.702	-1.367	-1.042	-1.245	-3.336	-1.701	-1.755	***	-0.335	-0.417
9	* -2.797	-0.424	-0.296	-0.861	-1.680	-0.777	-0.971	-1.118	-1.070	-1.123	-0.406	-0.347
10	***	-0.954	-2.015	-1.863	-0.878	-2.277	-4.080	* -1.177	-1.126	-0.431	-0.513	-1.880
11	***	-0.756	***	* -2.865	-1.566	-1.023	-0.917	-2.233	-0.453	-1.063	-1.403	***
12	* -1.069	-0.761	-1.540	-0.869	-0.714	-1.293	-0.556	-1.688	-0.744	-0.769	-3.570	-1.517
13	* -1.534	-1.237	* -2.636	-1.179	-1.672	-1.525	-2.066	-0.657	-1.590	-0.568	-2.051	-0.515
14	***	* -1.948	* -4.208	-1.553	* -2.662	-1.702	-1.640	-1.747	-1.224	-1.226	-1.404	-0.666
15	***	-0.998	* -3.613	-2.002	-2.197	-1.900	-2.210	-1.140	-0.871	-1.086	-0.955	-0.674
16	***	-1.987	-0.807	-4.111	-0.805	-1.311	-2.499	-1.363	-1.194	-0.575	-0.468	-0.621
17	***	* -3.314	* -2.219	-0.889	***	-1.910	-0.668	-1.416	-1.281	* -0.563	-1.050	-0.742
18	* -0.327	-1.445	-1.282	-0.875	* -2.961	-0.815	-0.572	-1.800	-0.433	* -0.566	-0.652	* -1.564
19	* -2.448	-1.973	-1.162	-2.722	-0.564	-2.170	-1.339	-0.995	-1.890	-0.911	-0.358	-1.671
20	***	-1.534	-1.793	-1.572	-1.568	-1.887	-2.513	-1.577	-3.997	-0.885	-0.976	-0.517
21	***	***	-2.436	-2.757	-2.764	-0.558	-0.845	-0.570	-0.675	-0.557	-1.388	***
22	* -0.684	-0.980	***	-3.045	* -3.937	* -1.550	-0.579	-1.452	-0.594	-0.936	-0.489	***
23	* -1.095	* -0.893	***	* -2.589	-1.990	-1.423	-1.509	-0.504	-0.895	-1.797	-0.574	-0.561
24	-1.397	-0.619	-1.818	-1.423	-0.307	-1.101	-1.977	-1.254	-1.439	-0.786	-0.370	-0.552
25	-0.397	-0.746	-1.990	* -2.656	-1.006	-0.588	-3.671	-1.386	-1.215	-1.552	-0.288	-0.604
26	-0.391	-1.680	* -1.814	* -3.741	-2.396	-1.127	-2.274	-1.548	-0.958	***	-0.671	-0.456
27	-0.594	***	-1.627	***	-1.432	-0.885	-2.948	-1.027	-2.390	* -3.061	-0.232	-0.830
28	-1.083	-0.952	-0.638	-1.336	-2.859	-0.707	-1.887	-1.394	-1.158	-1.014	-0.991	-1.736
29	* -0.554	. . .	-2.411	-0.915	-3.868	-1.910	-3.450	-1.370	-0.622	-0.525	-1.734	-0.943
30	***	. . .	-1.603	-1.109	-1.257	-0.850	-3.601	* -2.807	-0.925	-0.405	-0.605	-0.435
31	***	. . .	-1.252	. . .	-1.323	. . .	-1.715	-3.554	. . .	-1.646	. . .	* -1.180
MEAN	-1.236	-1.188	-1.680	-1.862	-1.788	-1.388	-1.826	-1.445	-1.357	-0.955	-0.986	-0.861

ITEM SENSIBLE HEAT FLUX (1.6 m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DA-650, TR-61A)
 UNIT x 0.1 (°C m/s)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.128	0.169	0.125	* 0.210	0.422	0.229	0.015	0.397	0.127	0.061	* 0.240	0.176
2	0.193	0.257	0.467	* 0.410	0.440	0.149	0.001	0.126	-0.009	-0.060	-0.059	0.193
3	0.224	0.196	0.185	0.546	0.212	-0.066	0.100	0.189	0.020	0.034	0.406	* 0.000
4	0.137	0.134	0.030	0.275	0.250	0.074	0.197	0.200	0.101	0.099	0.321	0.046
5	0.226	0.130	0.264	0.472	* 0.080	0.019	0.102	0.240	0.133	0.004	0.212	0.072
6	0.180	0.273	-0.050	0.495	0.097	0.053	0.051	0.133	0.103	0.027	0.333	0.151
7	0.142	0.280	0.317	0.464	0.143	0.337	0.276	* 0.070	0.175	-0.045	0.244	0.017
8	0.159	0.332	0.036	0.484	0.033	0.042	-0.041	0.147	0.094	* -0.440	0.188	0.170
9	0.005	0.075	0.135	0.511	0.393	0.102	0.147	0.138	0.005	0.153	0.349	0.052
10	-0.076	0.323	0.256	0.506	0.276	-0.017	-0.019	***	0.158	0.106	0.158	0.107
11	0.115	0.099	0.212	0.515	0.170	0.021	0.125	0.237	0.108	0.180	***	0.016
12	0.178	0.216	0.414	0.362	0.140	0.094	0.133	0.239	-0.018	0.094	-0.059	* 0.090
13	0.166	0.056	0.193	* 0.490	0.235	0.077	0.335	0.118	0.063	0.226	* 0.010	0.047
14	0.214	0.327	-0.182	* 0.290	0.312	0.198	0.255	* 0.180	0.113	0.010	* 0.050	0.064
15	0.066	0.222	* 0.300	***	0.510	* 0.250	0.736	0.234	0.023	0.086	0.208	0.094
16	0.209	0.175	0.360	0.532	-0.001	* 0.140	0.722	0.189	0.072	0.157	0.028	0.005
17	0.241	0.368	0.434	-0.010	* -0.130	* 0.190	0.347	0.203	0.056	* 0.080	* 0.010	0.148
18	0.069	0.397	0.400	0.267	0.224	0.006	0.218	0.179	0.047	* 0.260	0.143	0.181
19	0.035	0.302	0.382	0.429	0.123	0.187	0.373	0.072	-0.014	0.198	-0.002	0.172
20	0.013	* -0.010	0.041	0.121	0.265	0.142	0.503	0.087	-0.061	-0.008	0.187	0.205
21	0.046	0.285	0.390	* 0.070	0.155	* -0.100	0.078	0.041	0.014	0.266	0.271	***
22	0.006	0.272	0.051	* 0.430	0.119	* 0.050	0.049	0.104	0.075	0.091	0.016	***
23	0.063	* -0.060	0.334	0.487	0.201	0.044	0.194	0.026	-0.005	0.045	0.272	0.180
24	0.032	0.047	* 0.220	0.159	0.048	* -0.010	0.185	0.133	0.093	0.026	* 0.120	0.146
25	0.223	0.067	0.152	***	0.241	0.041	0.458	0.114	0.137	-0.048	0.113	0.150
26	0.138	-0.013	0.360	0.294	0.237	0.004	0.571	0.131	0.027	***	0.123	0.106
27	0.053	***	0.441	0.582	0.093	0.017	0.497	0.182	0.033	0.247	0.110	* 0.270
28	0.144	0.170	0.303	0.610	-0.035	-0.017	0.139	0.068	-0.001	0.179	0.117	* 0.040
29	0.081	. . .	0.497	0.541	0.029	0.125	0.324	0.089	0.030	0.255	0.108	0.079
30	-0.035	. . .	0.530	0.475	0.102	0.019	0.258	-0.011	-0.033	0.341	0.013	0.042
31	-0.086	. . .	0.296	. . .	0.097	. . .	0.260	***	. . .	0.161	. . .	0.078
MEAN	0.106	0.189	0.255	0.394	0.177	0.080	0.245	0.146	0.056	0.093	0.146	0.107

ITEM SENSIBLE HEAT FLUX (29.5 m HEIGHT)
 INSTRUMENT SONIC ANEMOMETER-THERMOMETER (DA-650, TR-61A)
 UNIT x 0.1 (°C m/s)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.263	0.207	0.121	0.244	0.442	0.337	0.055	0.432	0.271	0.126	0.149	0.140
2	0.265	0.305	0.669	0.394	0.603	0.351	-0.007	0.106	0.035	-0.026	-0.037	0.117
3	* 0.190	0.206	0.235	0.701	0.302	0.050	0.145	0.199	0.051	0.032	0.282	***
4	* 0.180	0.172	0.017	0.279	0.354	0.243	0.232	0.193	0.150	0.141	0.245	* 0.090
5	***	0.081	0.383	0.581	0.041	0.044	0.107	0.240	0.247	-0.026	0.101	* 0.070
6	***	0.297	* -0.110	0.616	0.082	0.054	-0.014	0.116	0.417	-0.005	0.205	0.102
7	***	0.378	0.523	0.577	0.165	0.677	0.143	-0.011	0.391	-0.122	0.147	0.157
8	***	* 0.570	0.038	0.663	-0.026	0.057	-0.101	0.140	0.242	***	0.148	0.146
9	* -0.010	0.079	0.136	0.630	0.460	0.168	0.036	0.175	0.065	0.134	0.200	0.052
10	* 0.080	0.311	0.308	0.577	0.371	0.102	-0.052	-0.022	0.271	0.139	0.098	0.141
11	***	0.124	0.544	0.833	0.295	-0.006	0.071	0.307	0.126	0.263	-0.066	***
12	* 0.260	0.199	0.460	0.496	0.198	0.217	0.020	0.371	-0.029	0.087	-0.064	0.009
13	* 0.260	0.101	0.123	0.570	0.378	0.263	0.254	0.110	0.171	0.279	-0.080	-0.020
14	***	0.356	* -0.260	0.046	0.566	0.345	0.150	0.287	0.276	0.071	0.053	0.032
15	0.340	0.225	* 0.490	0.469	0.789	0.374	0.463	0.380	0.076	0.156	0.042	0.052
16	***	0.339	0.571	0.778	0.019	0.195	0.444	0.364	0.234	0.215	-0.029	-0.014
17	***	0.540	0.444	-0.037	-0.273	0.353	0.237	0.305	0.237	* 0.100	-0.028	0.143
18	* 0.030	0.532	0.405	0.380	0.512	-0.001	0.095	0.330	-0.013	* 0.320	0.136	0.195
19	0.063	0.442	0.368	0.744	0.176	0.412	0.167	0.134	0.056	0.255	-0.027	0.211
20	***	0.039	0.134	0.164	0.532	0.376	0.360	0.198	0.206	-0.034	0.120	0.176
21	***	0.488	0.591	0.001	0.373	-0.029	0.033	0.060	0.055	0.290	0.180	***
22	* -0.020	0.367	* -0.040	0.669	0.430	* 0.050	0.027	0.231	0.070	0.075	-0.029	***
23	* 0.020	* -0.080	0.516	0.741	0.396	0.143	0.131	0.015	0.034	0.115	0.264	0.257
24	0.067	0.061	0.387	0.216	0.041	0.051	-0.069	0.296	0.311	0.055	0.075	0.144
25	0.250	0.054	0.165	* -0.120	0.258	0.111	0.267	0.208	0.346	-0.064	0.103	0.151
26	0.130	0.032	0.435	0.517	0.514	0.167	0.366	0.299	0.122	***	0.062	0.146
27	0.053	***	0.575	0.939	0.190	0.186	0.267	0.378	0.174	0.114	0.093	0.063
28	0.145	0.233	0.326	0.742	-0.076	-0.042	0.008	0.236	0.026	0.142	0.105	-0.042
29	* 0.100	* * *	0.702	0.706	-0.058	0.230	0.137	0.181	0.029	0.171	0.138	0.103
30	***	* * *	0.689	0.559	0.116	0.023	0.240	-0.012	-0.063	0.275	-0.041	0.019
31	-0.247	* * *	0.434	* * *	0.149	* * *	0.257	-0.368	* * *	0.265	* * *	0.170
MEAN	0.120	0.246	0.335	0.489	0.268	0.183	0.144	0.190	0.153	0.122	0.085	0.104

ITEM SHORT-WAVE RADIATION (1.5 m HEIGHT)
 INSTRUMENT PYRANOMETER (GORCZYNSKI TYPE) (MS-43F; MS-402F since Mar 20, 2006)
 UNIT (W/m²)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	126.1	156.9	84.8	106.5	292.3	215.5	82.6	211.5	207.6	141.8	127.3	123.5
2	128.0	160.4	218.6	235.6	298.0	280.7	46.6	108.1	98.3	29.3	47.1	123.3
3	128.7	142.7	85.9	277.6	201.8	139.7	137.0	176.7	105.9	68.9	172.7	11.3
4	126.6	112.3	55.2	158.5	213.2	171.8	187.9	158.8	132.3	181.6	133.2	100.5
5	124.7	73.8	202.3	228.6	86.5	86.6	118.8	169.9	219.6	47.5	92.7	61.9
6	120.1	166.8	13.3	247.9	104.4	97.8	91.1	97.4	266.0	36.2	151.8	123.3
7	92.3	161.8	213.7	260.9	106.2	317.7	207.6	116.7	238.2	18.0	119.3	126.0
8	115.1	173.2	34.6	251.5	58.4	58.4	113.5	120.2	167.2	139.0	99.6	122.9
9	30.3	62.6	81.8	275.3	282.0	151.8	166.8	130.2	118.6	189.9	127.1	44.9
10	101.6	165.6	186.4	285.9	286.3	127.1	147.4	53.6	231.7	127.2	89.6	112.5
11	137.9	52.2	186.2	278.5	183.0	93.7	165.9	202.5	195.3	203.9	11.9	13.1
12	127.0	175.7	231.0	177.0	120.5	200.7	166.5	223.0	42.8	146.8	51.2	88.8
13	137.8	74.7	122.5	259.0	201.8	236.1	225.3	129.6	207.8	180.1	34.3	66.0
14	137.9	164.7	26.7	109.1	297.8	213.3	250.2	220.0	245.9	124.5	33.6	63.3
15	144.6	126.7	247.9	249.3	311.9	220.3	291.4	298.5	102.3	191.6	140.6	80.8
16	137.7	110.5	202.2	274.8	71.0	155.3	298.4	285.4	233.1	188.3	56.0	33.4
17	138.7	199.7	206.3	20.6	63.7	227.8	182.6	256.0	240.5	117.4	16.1	108.9
18	45.3	195.2	215.2	192.5	320.5	71.6	112.9	252.9	84.0	178.3	119.0	116.7
19	127.2	169.7	217.2	271.3	196.6	202.6	172.4	190.9	127.7	165.6	22.4	121.7
20	61.5	55.2	109.8	91.5	317.3	231.6	241.5	244.9	237.2	83.7	134.8	119.7
21	39.8	201.9	229.0	73.5	279.9	55.0	48.7	110.9	110.6	172.5	136.7	***
22	14.8	170.7	49.4	254.2	260.1	83.1	53.5	172.8	135.8	132.7	27.4	***
23	65.6	25.0	213.9	314.0	215.2	216.3	145.8	157.2	137.2	127.4	125.5	115.1
24	45.2	59.3	107.3	94.5	87.1	122.7	132.3	221.5	222.7	56.7	74.2	114.1
25	155.0	50.7	75.9	27.5	223.3	185.9	242.5	244.4	235.6	49.4	78.1	107.5
26	113.1	30.8	219.0	274.2	305.8	255.2	272.0	243.4	154.3	13.1	112.3	61.8
27	111.5	23.6	241.9	316.0	191.0	270.1	233.7	246.1	130.2	177.9	85.0	108.7
28	105.3	139.3	193.6	318.7	80.0	85.7	127.2	253.7	130.8	166.0	121.5	81.8
29	45.9	* * *	268.2	308.0	90.2	250.6	194.1	232.5	62.4	132.7	115.6	117.4
30	18.4	* * *	273.5	294.6	101.0	79.2	171.7	125.5	42.1	148.9	32.8	54.8
31	32.8	* * *	155.5	* * *	73.6	* * *	145.9	28.6	* * *	147.8	* * *	88.7
MEAN	98.0	121.5	160.3	217.6	191.0	170.1	166.9	183.3	162.1	125.3	89.6	90.1

ITEM NET RADIATION (1.5 m HEIGHT)
 INSTRUMENT NET RADIOMETER (MIDDLETON TYPE) (CN-11)
 UNIT (W/m²)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	16.5	46.4	41.1	61.9	137.8	136.2	58.3	155.4	144.9	88.2	70.6	64.3
2	27.2	48.2	92.8	120.3	145.7	166.3	32.4	77.2	64.5	18.0	19.3	62.4
3	30.6	44.4	40.4	122.7	93.9	77.9	92.2	119.8	66.6	40.6	94.8	4.0
4	27.0	34.5	30.4	74.6	107.6	100.0	126.8	111.1	85.4	101.7	81.0	51.0
5	34.1	18.6	92.2	110.8	43.8	47.2	71.8	110.5	135.7	22.8	45.5	35.3
6	35.5	58.3	4.3	111.5	69.4	63.3	56.0	69.2	154.6	20.1	76.2	64.3
7	17.8	53.2	113.3	114.6	71.8	206.2	136.9	78.6	143.0	8.8	65.9	60.9
8	27.1	59.7	13.6	112.7	36.2	39.8	64.0	85.9	105.6	58.6	49.4	59.4
9	11.6	13.7	37.5	124.4	168.9	96.0	109.8	89.9	71.7	91.3	66.2	22.6
10	12.3	63.6	94.1	128.6	159.4	75.9	88.4	35.9	126.4	65.7	47.1	55.6
11	17.5	10.7	46.1	126.0	90.2	54.6	100.4	147.8	111.2	106.0	3.6	1.4
12	29.9	58.3	79.2	88.2	75.2	118.7	101.3	151.3	19.2	79.0	17.6	54.0
13	27.0	19.8	54.7	126.2	122.0	144.4	145.3	89.8	121.4	99.8	17.8	33.3
14	29.2	75.7	-9.9	58.0	154.0	137.5	165.3	148.8	140.7	62.8	16.3	22.3
15	14.6	49.9	97.0	136.2	157.9	148.5	187.9	178.6	61.3	96.9	68.0	19.5
16	25.3	36.5	88.2	149.3	34.4	106.2	184.6	173.6	138.8	96.5	19.9	-7.8
17	36.6	70.6	90.0	3.2	41.4	146.6	118.7	157.9	124.7	64.4	5.1	45.0
18	18.7	67.0	88.2	101.6	183.1	38.8	69.0	159.9	41.2	95.5	63.8	39.3
19	38.2	59.5	94.8	135.6	95.2	131.8	105.7	118.2	60.4	85.8	5.5	31.1
20	-2.5	17.8	43.2	43.5	178.1	152.0	140.7	159.2	117.1	32.4	77.2	31.3
21	16.8	67.2	93.5	44.5	162.1	37.3	31.3	68.6	62.9	90.5	69.1	***
22	8.6	69.5	27.1	160.6	154.7	61.8	36.2	117.6	82.9	59.9	7.4	***
23	34.0	-2.0	105.5	153.2	141.3	141.7	107.1	88.9	77.7	55.2	70.8	34.8
24	16.1	26.4	52.6	42.2	49.9	76.1	93.2	142.3	121.5	22.7	38.9	34.1
25	56.2	30.5	36.2	17.8	136.6	116.9	166.3	153.5	127.6	23.8	40.3	26.1
26	20.6	6.8	105.6	151.3	174.0	152.9	177.0	144.0	83.6	5.4	55.0	17.4
27	19.7	9.8	109.0	156.5	102.2	161.9	150.1	151.7	73.6	79.1	36.8	39.7
28	32.0	79.3	86.7	154.7	46.6	42.3	82.3	160.2	75.1	70.0	58.1	15.4
29	28.0	. . .	114.2	145.3	65.8	156.1	130.0	144.1	39.4	64.6	56.4	21.5
30	10.8	. . .	122.1	139.9	70.8	52.3	119.6	80.7	23.8	65.0	10.1	0.5
31	20.0	. . .	69.3	. . .	54.2	. . .	106.7	20.3	. . .	73.7	. . .	11.5
MEAN	23.8	42.6	69.5	107.2	107.2	106.2	108.2	119.0	93.4	62.7	45.1	32.8

ITEM SOIL HEAT FLUX (0.02 m DEPTH)
 INSTRUMENT SOIL HEAT FLUX METER (CPR-PHF-01)
 UNIT (W/m²)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-9.4	-4.3	0.9	-0.4	7.5	1.5	0.2	2.3	3.2	-0.7	2.2	-9.3
2	-7.8	-7.4	-5.2	-0.3	8.5	2.3	-1.9	0.4	0.9	-0.5	-7.3	-6.3
3	-8.4	-1.7	-5.2	4.3	8.4	2.8	1.6	4.2	-2.5	0.8	-11.5	-2.7
4	-7.8	-0.9	0.3	5.1	8.3	3.1	3.6	3.5	-1.0	-1.1	-8.0	-4.0
5	-5.2	-5.2	0.6	6.0	1.4	0.0	1.4	4.2	1.7	-3.5	-5.6	-1.6
6	-3.4	-4.7	0.7	4.7	2.4	2.6	2.0	2.6	0.1	-2.4	-5.0	-5.9
7	-6.4	-5.1	4.1	7.8	4.0	4.6	7.4	3.1	0.2	-2.6	-1.2	-11.1
8	-6.4	-6.9	-1.9	5.5	1.9	-4.4	4.7	1.5	0.3	0.3	-1.1	-8.8
9	-2.5	-5.8	2.6	7.2	11.8	3.4	6.9	4.0	-2.1	-2.9	-0.7	-2.1
10	-5.8	-0.1	3.6	7.8	13.4	3.4	4.9	1.7	-4.5	-4.9	2.2	-3.6
11	-7.0	-6.1	-9.9	5.7	4.2	0.2	-4.1	2.3	-1.8	-3.7	0.3	-3.2
12	-5.0	0.4	-5.3	4.7	6.5	4.3	0.1	1.2	-2.2	-1.8	-10.3	0.5
13	-7.5	3.4	1.9	10.5	6.7	3.6	6.0	2.3	0.0	0.3	-6.5	-6.8
14	-5.8	7.2	-1.0	4.7	0.7	1.0	5.5	1.2	-2.2	-1.3	0.4	-6.9
15	-7.6	1.3	-0.8	13.6	3.2	0.6	10.0	0.2	-1.7	-3.2	-5.0	-10.9
16	-5.8	-2.7	2.8	3.8	0.5	-0.4	8.8	1.4	-0.5	-4.8	-6.8	-11.1
17	-5.9	-4.5	-1.0	-9.6	4.1	2.0	4.9	-0.5	-4.1	-1.5	-8.4	-6.7
18	-0.2	-6.1	5.6	6.4	13.4	-1.2	5.5	0.9	-3.8	0.2	-7.8	-14.4
19	2.9	-3.9	9.7	9.4	0.8	1.3	5.9	0.7	-1.2	-3.8	-10.4	-13.4
20	-6.5	-2.9	0.6	-1.0	6.2	5.3	5.4	2.2	-3.0	-3.2	-6.9	-10.8
21	-0.5	-6.4	-3.7	4.8	5.0	3.3	-1.6	1.1	-1.9	-2.9	-6.8	-9.5
22	0.3	0.4	4.4	13.1	2.9	0.7	2.3	1.8	-0.3	-2.7	-9.0	-8.6
23	5.3	-3.0	0.3	-1.2	4.9	8.7	5.8	-2.7	-0.2	-1.9	-4.0	-6.1
24	-5.1	-2.3	-6.0	-7.3	0.1	0.4	6.5	-0.8	-1.1	-3.7	-3.5	-2.8
25	-7.2	2.5	-6.7	-4.5	-0.6	3.3	8.5	-2.1	-1.3	-2.5	-0.3	-1.4
26	-8.8	-3.9	-3.4	7.9	0.4	3.5	9.3	-2.0	-1.1	-2.3	-1.9	-2.7
27	-4.1	-7.3	0.4	-0.5	1.0	3.6	4.5	-1.2	-0.9	-1.9	-6.2	-2.1
28	-0.8	3.0	-3.4	0.6	-2.3	0.0	2.3	2.0	0.6	-3.3	-3.1	-0.6
29	4.0	. . .	0.1	4.0	1.0	4.4	6.1	2.1	0.8	-1.2	-6.7	-4.5
30	4.4	. . .	3.9	4.8	2.0	-0.6	3.4	-3.0	-2.4	-1.2	-5.3	-6.2
31	-2.3	. . .	0.7	. . .	-0.1	. . .	-0.7	-4.1	. . .	-1.1	. . .	-8.5
MEAN	-4.1	-2.6	-0.3	3.9	4.1	2.1	4.0	1.0	-1.1	-2.1	-4.8	-6.2

ITEM SUNSHINE DURATION (9.0m HEIGHT)
 INSTRUMENT SUNSHINE-RECORDER (MS-091)
 UNIT (min)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	526.5	507.0	14.0	44.5	707.5	274.0	1.5	199.5	298.0	252.0	295.5	528.5
2	533.5	571.0	616.0	485.5	724.5	547.5	0.0	43.5	0.0	0.0	6.0	502.5
3	534.0	451.0	21.5	668.5	264.5	36.0	53.0	258.5	28.5	28.5	570.0	0.0
4	533.5	230.5	0.0	173.0	265.5	159.5	254.5	129.5	35.0	449.5	412.5	303.5
5	489.5	27.0	464.5	477.0	0.0	0.0	5.0	185.0	505.0	0.0	181.5	114.0
6	512.0	582.5	0.0	622.5	22.0	22.0	0.0	0.5	* 590.5	0.0	571.5	533.5
7	321.0	566.0	500.5	640.0	24.5	651.0	324.0	50.5	558.0	0.0	328.5	534.0
8	506.0	584.5	0.0	653.0	1.5	0.0	61.0	8.0	295.0	322.0	235.5	529.0
9	0.0	66.5	22.0	692.0	623.5	17.5	128.5	6.5	39.5	515.0	364.0	0.0
10	354.0	493.0	390.5	704.5	616.5	1.0	123.0	0.5	583.5	231.0	84.0	522.5
11	539.5	3.5	519.5	692.5	192.5	157.5	128.0	233.0	357.0	599.0	0.0	0.0
12	536.5	555.5	633.0	264.5	34.0	221.0	54.0	381.0	2.0	303.5	0.0	232.0
13	529.5	0.0	173.0	612.5	332.0	331.0	320.0	98.5	452.0	* 423.5	0.0	78.0
14	542.5	510.5	36.0	117.5	666.0	265.0	371.0	346.5	574.5	250.0	0.0	167.0
15	546.5	313.0	659.5	543.5	761.0	233.5	604.0	708.5	85.0	598.5	486.0	209.0
16	547.0	151.0	524.0	629.5	0.0	17.0	677.0	608.5	484.0	591.0	0.5	0.0
17	549.0	553.0	534.0	0.0	0.0	361.0	197.0	542.0	642.5	181.5	0.0	430.0
18	0.0	557.5	604.0	291.0	678.0	5.5	13.5	493.5	124.0	563.5	359.5	504.0
19	461.0	494.5	576.0	632.0	293.0	256.5	122.5	289.5	21.5	479.5	0.0	522.5
20	42.0	130.5	177.5	8.0	759.5	223.5	385.0	405.0	* 519.5	58.0	506.5	527.5
21	3.5	586.0	640.0	20.0	* 519.5	0.0	0.0	20.5	53.5	510.5	540.5	***
22	0.0	441.5	6.5	395.0	429.5	0.0	0.0	318.5	122.5	343.0	0.0	***
23	157.5	0.0	445.5	719.0	290.0	340.5	99.0	241.0	127.5	251.0	* 390.5	527.0
24	0.0	0.0	23.5	94.0	26.0	157.0	49.0	399.5	585.5	0.0	98.0	519.5
25	572.5	4.5	96.5	0.0	393.0	242.5	376.5	484.0	667.5	0.0	229.0	455.5
26	356.5	0.0	443.0	533.0	722.0	470.0	549.5	504.5	279.0	0.0	386.5	190.5
27	423.5	0.0	544.0	660.5	269.5	546.0	374.0	575.5	88.0	* 499.0	201.5	482.0
28	264.5	133.5	370.5	720.5	0.5	0.0	42.5	622.5	97.5	557.5	451.5	274.0
29	0.0	* * *	653.5	734.0	0.0	422.5	233.5	533.0	0.0	336.5	371.5	504.0
30	0.0	* * *	670.5	723.5	33.5	0.0	207.0	61.0	0.0	450.0	0.0	101.5
31	0.0	* * *	202.0	* * *	0.0	* * *	79.0	0.0	* * *	506.5	* * *	265.5
MEAN	334.9	304.1	340.7	451.7	311.3	198.6	188.1	282.2	273.9	300.0	235.7	329.6

ITEM AIR TEMPERATURE (1.6 m HEIGHT)
 INSTRUMENT PT RESISTANCE THERMOMETER (CVS-HMP45D)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2.9	5.7	6.5	8.4	16.8	17.0	21.4	23.0	23.3	19.2	17.7	7.2
2	2.9	2.1	4.0	7.9	17.8	18.9	19.9	22.9	21.4	19.2	11.0	8.0
3	1.3	4.9	1.5	8.4	18.3	20.9	21.4	24.5	21.0	20.8	6.5	8.7
4	2.5	5.7	4.7	11.7	19.4	20.3	22.3	24.9	21.2	19.8	7.6	9.4
5	2.7	3.5	5.4	11.8	16.3	18.8	22.0	25.8	22.4	17.2	10.1	9.9
6	4.4	3.8	7.2	11.9	16.5	19.7	22.3	25.4	22.4	17.0	11.7	8.3
7	2.5	2.7	9.7	13.7	17.4	20.1	25.6	26.4	22.0	17.0	13.3	6.1
8	2.4	3.5	7.5	13.8	16.4	16.3	25.5	24.7	22.9	20.4	14.3	5.4
9	3.0	2.1	8.7	14.9	18.4	19.8	26.3	25.7	21.5	17.0	14.6	8.2
10	3.2	5.6	10.5	16.2	21.5	21.1	27.1	25.6	20.4	14.3	16.1	8.9
11	2.8	2.5	5.8	14.6	18.6	20.0	22.1	25.3	20.3	15.0	16.3	8.0
12	1.4	6.6	5.1	14.3	19.8	21.0	23.2	24.5	19.7	15.5	11.8	11.2
13	0.9	8.5	8.4	17.5	19.9	21.4	26.5	25.7	21.6	17.5	10.9	7.7
14	2.0	14.1	10.2	16.1	16.4	19.3	25.2	26.1	20.0	17.3	14.1	6.8
15	2.0	9.9	8.0	18.5	13.6	18.7	27.6	24.4	19.9	15.3	13.7	4.4
16	1.3	6.7	8.1	16.2	16.0	18.4	27.4	25.1	21.4	14.1	11.3	3.3
17	2.4	3.5	9.7	11.1	18.1	19.1	25.0	24.1	19.2	15.8	8.2	4.1
18	3.9	-2.6	11.4	13.9	22.0	18.6	26.0	24.7	17.9	17.6	8.2	1.7
19	7.2	3.2	13.9	14.6	19.1	18.9	27.1	25.4	20.1	16.0	5.6	0.8
20	3.5	3.9	12.6	14.3	20.3	21.4	25.1	26.4	20.4	16.0	7.4	0.9
21	4.4	4.0	7.5	16.6	21.5	22.3	21.4	26.2	19.2	15.6	9.5	***
22	5.1	5.0	12.6	18.2	21.8	20.8	22.5	25.9	20.9	15.3	5.7	***
23	8.9	5.0	12.1	15.4	21.4	25.4	23.3	23.7	21.5	15.9	8.8	2.7
24	3.5	4.0	6.6	10.3	18.0	22.3	26.0	23.2	20.8	14.0	9.0	4.5
25	1.4	6.1	5.5	11.0	17.4	23.4	27.5	22.6	20.3	15.1	11.2	5.6
26	1.3	5.1	5.1	15.7	18.7	24.6	28.4	22.3	20.4	14.7	12.1	5.4
27	3.8	1.9	4.9	13.3	19.7	24.8	27.0	22.5	20.2	16.0	9.7	5.2
28	5.1	5.1	4.8	10.0	17.7	22.6	25.9	25.8	21.9	14.1	10.9	7.3
29	7.5	* * *	5.6	12.3	17.9	23.2	27.7	26.5	21.1	15.4	8.9	4.9
30	9.2	* * *	7.2	14.8	18.3	21.1	26.8	22.0	18.5	16.1	8.1	3.6
31	7.3	* * *	8.4	* * *	17.5	* * *	22.8	18.6	* * *	15.6	* * *	1.9
MEAN	3.6	4.9	7.7	13.6	18.5	20.7	24.8	24.5	20.8	16.4	10.8	5.9

ITEM AIR TEMPERATURE (12.3 m HEIGHT)
 INSTRUMENT PT RESISTANCE THERMOMETER (CVS-HMP45D)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4.0	6.3	6.5	8.4	17.9	17.0	21.3	22.6	23.1	19.4	17.7	8.3
2	4.2	3.5	4.9	8.2	18.4	19.3	19.8	22.7	21.2	19.1	11.0	9.0
3	3.2	5.4	1.5	9.1	18.3	21.0	21.2	24.3	20.9	21.0	7.2	8.6
4	4.4	5.6	4.7	11.9	19.5	20.2	22.0	24.6	21.3	20.2	8.2	9.7
5	4.1	4.2	6.0	12.1	16.4	18.7	22.0	25.5	22.5	17.5	10.5	9.9
6	5.3	4.8	7.2	12.4	16.4	19.7	22.3	25.1	22.7	16.9	12.1	9.4
7	3.7	3.9	9.9	14.1	17.3	20.0	25.5	26.3	22.1	16.9	13.6	7.5
8	3.3	4.6	7.5	14.2	16.3	16.1	25.5	24.5	22.8	20.6	14.7	6.5
9	3.0	3.1	8.7	15.6	18.5	19.7	26.3	25.5	21.5	18.2	15.2	8.3
10	3.3	6.4	10.4	17.2	21.9	21.0	27.2	25.6	21.6	15.3	16.2	9.4
11	3.1	3.6	6.0	15.0	18.4	20.3	22.5	25.2	21.1	15.7	16.2	7.9
12	2.0	7.3	5.4	14.5	19.7	21.1	23.5	24.2	19.7	15.7	11.7	11.8
13	1.6	8.6	8.4	18.0	20.1	21.3	27.0	25.6	22.3	17.9	10.8	8.9
14	3.2	14.4	10.2	16.2	16.7	19.1	25.2	26.2	20.4	17.4	14.3	7.2
15	2.3	10.3	8.4	18.3	13.5	18.6	27.4	24.6	20.2	15.5	14.6	5.1
16	2.5	7.2	8.7	16.0	16.0	18.2	27.0	25.0	21.7	14.9	11.8	3.7
17	3.7	3.4	10.8	11.1	18.1	19.0	24.9	24.1	19.7	16.2	8.1	4.5
18	4.0	3.2	12.3	14.1	22.1	18.6	25.8	24.7	18.4	18.1	8.9	3.3
19	7.2	3.4	14.5	14.9	19.9	18.8	27.3	25.4	20.1	16.9	5.8	2.3
20	4.6	4.3	13.1	14.2	20.6	21.2	24.9	26.4	20.7	16.9	7.7	3.0
21	4.4	4.5	8.0	16.6	21.7	22.1	21.2	26.3	19.3	16.4	10.1	***
22	5.0	5.3	12.9	18.0	21.7	20.6	22.3	25.9	21.4	15.6	6.0	***
23	9.1	5.1	12.0	15.6	21.2	25.4	23.1	24.2	21.8	15.9	9.5	4.7
24	3.6	4.1	6.7	10.6	18.2	22.3	25.8	23.4	21.3	14.4	9.5	5.6
25	2.8	6.0	5.7	10.8	17.4	23.5	27.2	22.6	20.8	15.1	11.6	6.1
26	2.5	5.1	5.8	15.5	18.7	25.2	28.1	22.4	20.7	14.6	12.5	6.4
27	4.0	1.9	5.1	13.7	19.7	25.3	26.8	22.7	20.2	16.8	10.8	5.9
28	5.2	5.0	5.1	10.6	17.6	22.9	25.8	26.1	21.9	14.8	10.9	7.6
29	7.4	. . .	5.8	12.7	17.8	23.1	27.4	26.7	21.1	16.1	9.0	5.2
30	9.0	. . .	7.1	15.3	18.2	20.9	26.5	22.0	18.6	17.1	8.3	4.1
31	7.2	. . .	8.4	. . .	17.4	. . .	22.5	18.6	. . .	16.1	. . .	2.4
MEAN	4.3	5.4	8.0	13.8	18.6	20.7	24.7	24.5	21.0	16.9	11.1	6.6

ITEM AIR TEMPERATURE (29.5 m HEIGHT)
 INSTRUMENT PT RESISTANCE THERMOMETER (CVS-HMP45D)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4.3	6.4	6.4	8.3	18.4	17.1	21.1	22.4	23.0	19.4	17.7	8.9
2	4.7	4.0	5.2	8.2	18.7	19.8	19.6	22.5	21.1	19.1	10.9	9.5
3	4.2	5.7	1.4	9.8	18.2	20.9	21.1	24.1	20.8	21.1	7.9	8.5
4	5.0	5.5	4.6	12.2	19.4	20.1	21.9	24.5	21.3	20.4	8.8	9.8
5	5.3	4.7	6.2	12.2	16.4	18.5	21.9	25.4	22.5	17.6	10.8	10.0
6	5.6	5.3	7.1	12.7	16.3	19.6	22.4	25.0	22.8	16.8	12.4	9.9
7	4.3	4.6	9.9	14.2	17.1	19.9	25.3	26.2	22.2	16.8	13.9	8.3
8	3.6	4.9	7.4	14.4	16.3	16.0	25.5	24.5	22.7	20.6	15.0	6.9
9	3.0	3.6	8.7	15.8	18.6	19.5	26.3	25.4	21.4	18.6	15.5	8.3
10	3.5	6.6	10.2	17.3	22.2	20.8	27.2	25.5	21.9	15.8	16.2	9.7
11	3.1	4.4	5.9	15.3	18.2	20.4	22.5	25.2	21.5	15.9	16.2	7.9
12	2.5	7.6	5.4	14.5	19.6	21.2	23.8	24.1	19.7	15.7	11.7	12.0
13	2.1	8.6	8.4	18.2	20.0	21.2	27.1	25.5	22.3	18.0	10.7	9.4
14	3.7	14.5	10.2	16.2	16.7	19.0	25.3	26.3	20.6	17.4	14.5	7.3
15	2.4	10.4	8.4	18.1	13.5	18.5	27.2	24.7	20.3	15.6	15.0	5.4
16	3.1	7.6	8.9	15.9	15.9	18.1	27.0	24.9	21.8	15.4	12.1	3.9
17	4.5	3.3	11.6	10.9	18.0	18.9	24.8	24.1	20.1	16.5	8.0	4.8
18	4.0	3.5	12.6	14.1	22.0	18.5	25.8	24.6	18.6	18.4	9.0	3.8
19	7.1	3.5	14.8	15.0	20.1	18.7	27.4	25.3	20.0	17.4	6.0	2.7
20	4.9	4.4	13.2	14.1	20.9	21.1	24.9	26.3	20.7	17.9	8.5	3.8
21	4.4	4.6	8.3	16.5	21.9	22.0	21.1	26.3	19.3	17.0	10.3	***
22	4.8	5.5	13.0	17.9	21.6	20.5	22.2	25.8	21.5	15.8	6.1	***
23	9.1	5.2	12.0	15.6	21.1	25.3	23.0	24.5	21.8	15.9	10.3	5.8
24	3.7	4.1	6.6	10.6	18.2	22.2	25.7	23.6	21.5	14.6	9.9	6.1
25	3.4	5.8	5.7	10.7	17.5	23.4	27.0	22.6	20.9	15.0	11.9	6.3
26	3.1	5.0	6.0	15.3	18.7	25.3	27.9	22.4	20.8	14.6	12.9	6.9
27	4.1	1.8	5.2	13.7	19.7	25.6	26.6	22.9	20.1	17.3	11.6	6.7
28	5.2	4.9	5.2	11.0	17.5	22.9	25.7	26.1	21.9	15.7	11.1	7.5
29	7.3	. . .	5.8	13.1	17.7	23.0	27.3	26.7	21.0	16.6	9.0	5.3
30	8.9	. . .	6.9	15.5	18.1	20.8	26.3	22.0	18.6	18.0	8.4	4.5
31	7.2	. . .	8.4	. . .	17.2	. . .	22.3	18.5	. . .	16.6	. . .	2.8
MEAN	4.6	5.6	8.1	13.9	18.6	20.6	24.6	24.4	21.1	17.2	11.4	7.0

ITEM SOIL TEMPERATURE (0.02 m DEPTH)
 INSTRUMENT PT RESISTANCE THERMOMETER (C-PTG-10)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3.0	5.8	5.8	9.2	16.7	18.0	21.0	24.4	21.6	19.6	15.8	8.2
2	2.7	3.8	5.5	8.8	17.5	18.0	20.4	23.8	22.7	19.2	14.3	7.5
3	2.5	4.2	3.9	9.1	17.5	18.8	20.5	24.5	21.3	20.0	11.7	8.5
4	2.3	5.1	5.0	10.3	18.3	19.2	21.2	24.7	21.3	19.7	10.4	9.0
5	2.6	4.4	5.6	11.7	16.6	18.6	21.2	25.0	21.9	18.5	11.4	9.1
6	3.4	4.3	6.3	11.5	16.7	18.8	20.9	24.8	22.0	18.1	11.3	8.5
7	3.4	3.5	7.8	12.6	16.9	19.8	22.4	25.0	21.7	17.7	12.3	5.9
8	2.9	3.2	7.0	13.0	16.7	17.9	22.7	24.6	22.2	17.5	13.1	5.8
9	3.3	2.3	7.6	13.5	19.0	18.8	23.2	24.9	21.6	16.7	13.3	7.8
10	3.2	4.5	9.3	13.7	20.3	19.4	23.4	24.6	20.6	16.1	14.1	8.1
11	2.6	3.1	6.6	13.9	19.7	19.2	21.9	25.0	20.0	15.5	15.1	7.8
12	2.8	4.2	6.2	14.1	19.6	19.5	21.3	24.7	20.2	16.1	13.1	9.5
13	2.0	5.3	6.7	15.5	20.5	20.2	22.8	24.5	20.8	17.0	11.4	7.8
14	2.1	8.6	8.6	14.9	19.0	19.8	23.6	25.1	20.2	16.9	13.1	7.8
15	1.6	7.5	7.3	17.1	17.7	19.4	25.0	24.4	19.9	16.6	12.7	6.1
16	1.8	7.1	8.2	16.9	16.6	18.8	25.5	24.6	20.8	15.3	11.3	5.4
17	1.6	5.7	8.0	13.6	17.2	19.1	24.9	24.2	19.6	15.6	10.5	5.8
18	2.7	4.9	8.9	14.5	20.7	18.6	24.9	24.2	18.7	16.9	10.5	4.0
19	5.1	4.3	10.7	15.2	19.1	19.1	25.2	24.3	19.7	16.0	8.6	2.9
20	3.4	5.0	11.3	14.1	19.4	19.9	25.1	24.6	19.4	15.5	8.5	2.6
21	3.8	4.2	8.7	14.8	19.8	20.8	23.0	24.5	19.0	15.5	9.5	2.4
22	4.7	4.5	9.4	18.1	20.3	20.5	23.3	24.7	19.6	15.3	7.9	2.2
23	6.6	5.3	10.7	16.2	20.7	22.0	24.1	23.6	20.0	15.8	9.5	2.6
24	5.5	4.5	8.6	13.1	19.2	21.3	24.9	23.0	19.9	15.1	8.9	3.2
25	3.7	6.0	7.3	12.0	18.9	21.4	26.1	22.9	19.6	15.1	10.9	4.7
26	2.5	5.5	7.5	15.5	18.9	21.8	26.8	22.6	19.7	14.5	11.1	4.8
27	2.9	4.1	7.7	14.4	18.9	21.9	26.2	22.2	19.7	14.8	9.5	4.3
28	3.9	5.2	7.7	14.1	18.0	21.4	25.3	23.3	20.0	13.9	10.0	6.2
29	5.6	• • •	7.8	14.9	17.3	21.9	25.9	23.7	20.4	14.7	9.1	4.8
30	7.2	• • •	9.1	15.8	18.1	21.1	26.1	22.7	19.7	15.0	9.1	4.7
31	6.7	• • •	9.1	• • •	17.7	• • •	24.3	20.4	• • •	14.8	• • •	3.4
MEAN	3.5	4.9	7.7	13.7	18.5	19.8	23.6	24.0	20.5	16.4	11.3	5.8

ITEM SOIL TEMPERATURE (0.10 m DEPTH)
 INSTRUMENT PT RESISTANCE THERMOMETER (C-PTG-10)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5.0	6.8	6.3	9.7	16.1	18.5	21.6	24.7	22.0	20.2	16.5	10.4
2	4.6	5.6	6.4	9.4	16.8	18.5	21.3	24.4	22.8	20.0	16.2	9.6
3	4.4	5.3	5.5	9.4	17.1	19.1	21.1	24.5	22.2	20.5	14.4	10.1
4	4.1	5.9	5.7	10.3	17.6	19.4	21.5	24.8	22.1	20.5	13.0	10.4
5	4.1	5.7	6.2	11.3	17.0	19.2	21.6	25.0	22.3	19.8	13.3	10.5
6	4.6	5.5	6.8	11.6	16.8	19.2	21.5	25.0	22.5	19.4	13.2	10.6
7	4.8	5.0	7.7	12.2	16.9	19.8	22.2	25.1	22.3	19.2	13.6	9.4
8	4.5	4.7	7.7	12.7	16.9	19.1	22.7	25.0	22.6	18.6	14.2	8.3
9	4.5	4.1	7.8	13.2	18.0	19.0	23.0	25.0	22.4	18.2	14.3	9.0
10	4.6	5.0	8.9	13.5	18.9	19.5	23.3	25.2	21.8	17.9	14.8	9.4
11	4.2	4.7	8.1	13.8	19.3	19.7	22.7	25.5	21.1	17.3	15.9	9.3
12	4.1	4.8	7.2	14.0	19.2	19.6	21.9	25.3	21.2	17.4	15.2	10.1
13	3.7	5.6	7.3	14.8	19.8	20.2	22.6	25.1	21.3	17.9	13.6	9.5
14	3.6	7.8	8.8	14.9	19.1	20.2	23.2	25.5	21.2	18.0	14.1	9.4
15	3.4	7.8	8.0	16.1	18.1	19.9	24.1	25.0	20.9	17.9	14.2	8.4
16	3.3	7.8	8.4	16.6	17.4	19.6	24.7	25.0	21.3	17.1	13.3	7.7
17	3.2	6.8	8.6	15.0	17.4	19.6	24.6	24.8	20.8	16.9	12.7	7.6
18	3.6	6.2	8.9	14.5	19.2	19.5	24.6	24.7	20.0	17.6	12.3	6.8
19	5.1	5.7	10.1	15.0	19.1	19.5	24.7	24.7	20.4	17.3	11.2	5.8
20	4.8	6.0	11.2	14.7	19.0	19.9	24.8	24.8	20.3	16.9	10.7	5.3
21	4.6	5.6	9.7	14.8	19.4	21.0	23.8	24.8	20.0	16.8	11.3	4.9
22	5.3	5.3	9.7	16.8	19.9	21.1	23.5	24.9	20.2	16.6	10.3	4.7
23	6.4	6.2	10.8	16.4	20.2	21.7	23.9	24.4	20.5	16.8	10.9	4.7
24	6.5	5.6	9.7	14.7	19.6	21.8	24.5	23.8	20.5	16.5	10.6	4.9
25	5.2	6.3	8.7	13.4	19.2	21.7	25.3	23.7	20.3	16.4	11.8	5.7
26	4.3	6.5	8.5	14.8	19.1	21.9	26.0	23.4	20.3	16.0	12.1	6.1
27	4.2	5.7	8.4	14.8	19.1	22.0	26.0	23.0	20.3	16.1	11.4	5.8
28	4.7	5.6	8.7	14.5	18.7	22.0	25.5	23.5	20.4	15.5	11.4	6.9
29	5.7	• • •	8.6	14.9	18.1	22.0	25.7	23.8	20.7	15.8	11.0	6.4
30	7.1	• • •	9.3	15.5	18.5	21.8	26.0	23.5	20.5	16.1	10.9	6.3
31	7.5	• • •	9.6	• • •	18.5	• • •	25.1	22.0	• • •	15.9	• • •	5.6
MEAN	4.7	5.8	8.3	13.8	18.4	20.2	23.7	24.5	21.2	17.6	12.9	7.7

ITEM SOIL TEMPERATURE (0.50 m DEPTH)
 INSTRUMENT PT RESISTANCE THERMOMETER (C-PTG-10)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8.8	7.2	7.1	9.3	13.7	17.3	19.7	22.5	22.2	20.1	16.8	13.0
2	8.7	7.3	7.2	9.4	13.9	17.3	19.7	22.4	22.0	20.0	16.8	12.9
3	8.5	7.3	7.2	9.4	14.1	17.3	19.7	22.4	21.9	20.0	16.8	12.7
4	8.3	7.2	7.2	9.5	14.3	17.3	19.7	22.4	21.8	20.0	16.6	12.4
5	8.1	7.2	7.1	9.6	14.5	17.4	19.7	22.4	21.8	20.0	16.2	12.3
6	7.9	7.2	7.1	9.8	14.7	17.5	19.7	22.4	21.7	19.9	16.0	12.2
7	7.8	7.2	7.1	10.0	14.7	17.5	19.7	22.5	21.7	19.8	15.7	12.2
8	7.8	7.1	7.3	10.3	14.8	17.6	19.8	22.5	21.6	19.5	15.6	12.0
9	7.7	7.0	7.5	10.5	14.9	17.7	20.0	22.6	21.6	19.2	15.5	11.8
10	7.6	6.9	7.6	10.8	15.1	17.6	20.1	22.8	21.6	19.1	15.5	11.6
11	7.5	6.8	7.8	11.1	15.4	17.7	20.3	23.1	21.5	19.0	15.5	11.5
12	7.4	6.8	8.0	11.3	15.6	17.8	20.4	23.1	21.4	18.8	15.6	11.4
13	7.3	6.8	8.0	11.6	15.9	17.9	20.3	23.1	21.2	18.6	15.6	11.3
14	7.1	6.8	8.0	11.8	16.1	18.0	20.3	23.1	21.1	18.6	15.5	11.4
15	7.0	7.1	8.1	12.3	16.2	18.1	20.4	23.1	21.1	18.5	15.3	11.3
16	6.9	7.4	8.2	12.6	16.2	18.1	20.6	23.1	21.0	18.4	15.3	11.2
17	6.8	7.6	8.3	12.9	16.2	18.2	20.8	23.1	20.9	18.3	15.2	10.9
18	6.6	7.6	8.4	13.1	16.1	18.2	21.0	23.0	20.8	18.2	14.9	10.7
19	6.6	7.6	8.5	13.1	16.2	18.2	21.2	23.0	20.7	18.1	14.7	10.5
20	6.7	7.5	8.7	13.1	16.4	18.2	21.3	23.0	20.6	18.0	14.4	10.2
21	6.7	7.5	9.0	13.2	16.5	18.4	21.4	23.0	20.5	17.9	14.1	9.9
22	6.8	7.4	9.2	13.2	16.6	18.7	21.4	23.0	20.4	17.8	13.9	9.6
23	6.8	7.3	9.3	13.5	16.8	18.8	21.4	23.0	20.3	17.7	13.7	9.3
24	6.9	7.2	9.4	13.7	17.0	19.0	21.4	22.9	20.3	17.7	13.5	9.0
25	7.1	7.2	9.5	13.7	17.1	19.1	21.5	22.8	20.2	17.6	13.4	8.8
26	7.1	7.2	9.4	13.6	17.1	19.2	21.7	22.7	20.2	17.4	13.3	8.8
27	7.0	7.3	9.3	13.5	17.2	19.3	21.9	22.6	20.2	17.2	13.3	8.7
28	6.9	7.2	9.2	13.6	17.2	19.4	22.1	22.5	20.1	17.1	13.3	8.7
29	6.8	. . .	9.2	13.6	17.2	19.5	22.2	22.4	20.1	17.0	13.2	8.7
30	6.9	. . .	9.2	13.6	17.1	19.6	22.3	22.4	20.1	16.9	13.2	8.8
31	7.0	. . .	9.2	. . .	17.1	. . .	22.5	22.4	. . .	16.9	. . .	8.7
MEAN	7.3	7.2	8.3	11.9	15.9	18.2	20.8	22.7	21.0	18.5	14.9	10.7

ITEM SOIL TEMPERATURE (1.00 m DEPTH)
 INSTRUMENT PT RESISTANCE THERMOMETER (C-PTG-10)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12.3	9.4	9.3	10.0	12.5	15.1	16.9	18.9	20.1	19.2	17.4	14.9
2	12.2	9.4	9.3	10.0	12.5	15.2	16.9	18.9	20.1	19.2	17.3	14.9
3	12.1	9.5	9.3	10.0	12.6	15.3	17.0	19.0	20.1	19.1	17.3	14.8
4	12.0	9.5	9.3	10.0	12.6	15.3	17.0	19.1	20.1	19.1	17.2	14.6
5	11.9	9.5	9.3	10.1	12.7	15.3	17.1	19.1	20.0	19.0	17.2	14.5
6	11.8	9.6	9.2	10.1	12.8	15.4	17.1	19.2	20.0	19.0	17.1	14.3
7	11.7	9.6	9.0	10.1	12.9	15.4	17.2	19.2	20.0	19.0	17.0	14.3
8	11.6	9.6	9.0	10.2	12.9	15.5	17.2	19.2	20.0	19.0	16.9	14.2
9	11.5	9.6	9.0	10.2	13.0	15.5	17.3	19.3	19.9	19.0	16.8	14.1
10	11.4	9.6	9.1	10.3	13.1	15.6	17.3	19.5	19.9	19.0	16.7	14.1
11	11.3	9.5	9.1	10.4	13.2	15.6	17.4	19.7	19.9	18.9	16.5	14.0
12	11.2	9.5	9.2	10.5	13.3	15.6	17.4	19.8	19.9	18.8	16.4	13.8
13	11.1	9.5	9.2	10.6	13.4	15.7	17.5	19.8	19.8	18.7	16.3	13.7
14	11.0	9.4	9.2	10.7	13.5	15.7	17.6	19.9	19.8	18.7	16.3	13.6
15	10.9	9.4	9.2	10.8	13.6	15.8	17.6	19.9	19.8	18.6	16.3	13.6
16	10.8	9.4	9.3	10.9	13.7	15.8	17.7	19.9	19.7	18.5	16.2	13.5
17	10.7	9.4	9.3	11.1	13.8	15.9	17.7	20.0	19.7	18.5	16.2	13.4
18	10.6	9.4	9.3	11.2	13.9	15.9	17.8	20.0	19.7	18.4	16.1	13.4
19	10.5	9.5	9.4	11.4	14.0	16.0	17.9	20.0	19.6	18.3	16.0	13.3
20	10.5	9.5	9.4	11.5	14.1	16.0	18.0	20.1	19.6	18.3	16.0	13.2
21	10.4	9.5	9.5	11.6	14.2	16.2	18.1	20.1	19.6	18.2	15.9	13.1
22	10.3	9.5	9.5	11.7	14.2	16.3	18.1	20.1	19.5	18.1	15.8	13.0
23	10.2	9.5	9.6	11.8	14.3	16.3	18.2	20.1	19.5	18.1	15.7	12.9
24	10.1	9.5	9.7	11.9	14.4	16.4	18.2	20.1	19.4	18.0	15.6	12.8
25	10.0	9.4	9.8	12.0	14.5	16.5	18.3	20.1	19.4	17.9	15.5	12.6
26	10.0	9.4	9.8	12.2	14.6	16.5	18.3	20.2	19.4	17.8	15.4	12.5
27	10.0	9.4	9.9	12.3	14.7	16.6	18.4	20.2	19.3	17.8	15.3	12.4
28	10.0	9.4	9.9	12.3	14.8	16.7	18.5	20.2	19.3	17.7	15.2	12.2
29	9.9	. . .	9.9	12.4	14.8	16.7	18.6	20.2	19.2	17.6	15.1	12.1
30	9.9	. . .	10.0	12.4	14.9	16.8	18.7	20.2	19.2	17.6	15.0	12.0
31	9.6	. . .	10.0	. . .	14.9	. . .	18.8	20.1	. . .	17.5	. . .	11.9
MEAN	10.9	9.5	9.4	11.0	13.7	15.9	17.7	19.7	19.7	18.5	16.3	13.5

ITEM GROUND WATER LEVEL (10.0 m DEPTH)
 INSTRUMENT WATER LEVEL GAUGE (PRESSURE TRANSDUCER TYPE) (M86H-10 since Apr 22, 2009)
 UNIT (m)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	***	***	***	***	-1.74	-1.77	-1.86	-2.15	-2.11	-3.01	-1.79	-1.81
2	***	***	***	***	-1.75	-1.75	-1.85	-2.15	-2.10	-3.14	-1.81	-1.82
3	***	***	***	***	-1.76	-1.83	-1.87	-2.15	-2.09	-3.20	-1.83	-1.80
4	***	***	***	***	-1.78	-1.84	-1.88	* -2.17	-2.08	-3.31	-1.83	-1.65
5	***	***	***	***	-1.80	-1.85	-1.89	-2.19	-2.08	-3.43	-1.83	-1.64
6	***	***	***	***	-1.83	-1.86	-1.91	-2.19	-2.09	-3.53	-1.85	-1.57
7	***	***	***	***	-1.86	-1.89	-1.91	-2.20	-2.10	-3.59	-1.86	-1.62
8	***	***	***	***	-1.87	-1.91	-1.92	-2.21	-2.11	-2.40	-1.86	-1.67
9	***	***	***	***	-1.89	-1.91	-1.90	-2.21	-2.12	-1.85	-1.87	-1.70
10	***	***	***	***	-1.91	-1.92	-1.92	-2.04	-2.13	-1.63	-1.88	-1.70
11	***	***	***	***	-1.92	-1.94	-1.92	-1.71	-2.14	-1.65	-1.67	-1.72
12	***	***	***	***	-1.94	-1.94	-1.96	-1.72	-2.15	-1.68	-1.45	-1.59
13	***	***	***	***	-2.01	-1.92	-2.00	-1.75	-2.16	-1.71	-1.52	-1.55
14	***	***	***	***	-2.00	-1.93	-1.99	-1.78	-2.17	-1.74	-1.54	-1.57
15	***	***	***	***	-2.04	-1.95	-2.02	-1.80	-2.19	-1.77	-1.56	-1.59
16	***	***	***	***	-2.06	-1.96	-2.01	-1.82	-2.20	-1.79	-1.58	-1.62
17	***	***	***	***	-2.01	-2.03	-2.04	-1.83	-2.21	-1.81	-1.61	-1.64
18	***	***	***	***	-2.02	-2.04	-2.02	-1.85	-2.22	-1.82	-1.51	-1.66
19	***	***	***	***	-2.08	-2.03	-2.00	-1.87	-2.23	-1.83	-1.52	-1.68
20	***	***	***	***	-2.25	-2.05	-1.99	-1.89	-2.24	-1.85	-1.56	-1.71
21	***	***	***	***	-2.34	-1.74	-2.00	-1.91	-2.26	-1.87	-1.59	-1.74
22	***	***	***	***	-2.31	-1.48	-2.02	-1.94	-2.27	-1.89	-1.63	-1.75
23	***	***	***	-1.82	-2.33	-1.56	-2.02	-1.96	-2.29	-1.92	-1.66	-1.75
24	***	***	***	-1.83	-2.36	-1.62	-2.03	-1.98	-2.31	-1.94	-1.67	-1.75
25	***	***	***	-1.78	-2.41	-1.66	-2.05	-2.00	-2.38	-1.97	-1.68	-1.76
26	***	***	***	-1.54	-2.34	-1.69	-2.06	-2.03	-2.43	-1.94	-1.70	-1.77
27	***	***	***	-1.61	-2.32	-1.72	-2.08	-2.05	-2.49	-1.75	-1.71	-1.79
28	***	***	***	-1.65	-2.28	-1.74	-2.09	-2.07	-2.56	-1.70	-1.73	-1.81
29	***	. . .	***	-1.69	-2.25	-1.79	-2.10	-2.09	-2.69	-1.72	-1.76	-1.83
30	***	. . .	***	-1.72	-2.19	-1.83	-2.12	-2.11	-2.86	-1.74	-1.79	-1.83
31	***	. . .	***	. . .	-2.14	. . .	-2.13	-2.12	. . .	-1.77	. . .	-1.84
MEAN	***	***	***	-1.71	-2.06	-1.84	-1.99	-2.00	-2.25	-2.16	-1.70	-1.71

ITEM GROUND WATER LEVEL (NEW: 2.0 m DEPTH)
 INSTRUMENT WATER LEVEL GAUGE (PRESSURE TRANSDUCER TYPE)
 UNIT (m)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	***	-1.42	-1.68	-1.76	-1.61	-1.49	-1.62	***	***	***	-1.61	-1.66
2	***	-1.58	-1.68	-1.70	-1.64	-1.44	-1.64	***	***	***	-1.63	-1.67
3	***	-1.67	-1.69	-1.62	-1.66	-1.51	-1.66	***	***	***	-1.65	-1.66
4	***	-1.74	-1.71	-1.63	-1.68	-1.56	-1.68	***	***	***	-1.65	-1.49
5	***	-1.79	-1.73	-1.66	-1.70	-1.60	-1.69	***	***	***	-1.65	-1.46
6	***	-1.83	-1.65	-1.68	-1.71	-1.63	-1.71	***	***	***	-1.67	-1.37
7	***	-1.86	-1.29	-1.70	-1.73	-1.66	-1.72	***	***	-1.86	-1.68	-1.39
8	***	-1.87	-1.39	-1.72	-1.74	-1.68	-1.73	***	***	-1.20	-1.69	-1.44
9	***	***	-1.46	-1.74	-1.75	-1.70	-1.75	-1.87	***	-1.05	-1.70	-1.48
10	***	***	-1.51	-1.76	-1.76	-1.72	-1.76	-1.82	***	-1.25	-1.72	-1.52
11	***	***	-1.55	-1.77	-1.77	-1.73	-1.77	-1.54	***	-1.36	-1.51	-1.54
12	***	***	-1.58	-1.78	-1.78	-1.75	-1.79	-1.55	***	-1.44	-1.24	-1.38
13	***	***	-1.60	-1.80	-1.79	-1.76	-1.80	-1.59	***	-1.50	-1.31	-1.38
14	***	***	-1.58	-1.81	-1.80	-1.77	-1.82	-1.62	***	-1.54	-1.36	-1.43
15	***	***	-1.49	-1.59	-1.82	-1.79	-1.83	-1.65	***	-1.58	-1.39	-1.47
16	***	-1.88	-1.52	-1.53	-1.83	-1.79	-1.85	-1.68	***	-1.61	-1.43	-1.50
17	***	-1.84	-1.56	-1.58	-1.83	-1.76	-1.86	-1.70	***	-1.63	-1.46	-1.53
18	***	-1.80	-1.59	-1.62	-1.84	-1.73	-1.86	-1.72	***	-1.66	-1.36	-1.56
19	***	-1.81	-1.62	-1.65	-1.86	-1.73	-1.86	-1.75	***	-1.68	-1.37	-1.59
20	***	-1.82	-1.64	-1.67	***	-1.74	***	-1.77	***	-1.70	-1.42	-1.61
21	***	-1.83	-1.66	-1.69	***	-1.43	***	-1.79	***	-1.72	-1.45	-1.63
22	***	-1.84	-1.68	-1.71	***	-1.15	***	-1.81	***	-1.73	-1.49	-1.64
23	***	-1.84	-1.69	-1.72	***	-1.29	***	-1.83	***	-1.75	-1.52	-1.66
24	***	-1.79	-1.71	-1.73	***	-1.38	***	-1.85	***	-1.76	-1.55	-1.67
25	***	-1.76	-1.72	-1.68	***	-1.42	***	-1.86	***	-1.78	-1.57	-1.69
26	***	-1.76	-1.73	-1.39	***	-1.46	***	***	***	-1.76	-1.59	-1.70
27	***	-1.76	-1.73	-1.45	***	-1.51	***	***	***	-1.50	-1.61	-1.71
28	***	-1.73	-1.73	-1.51	***	-1.54	***	***	***	-1.48	-1.62	-1.72
29	***	. . .	-1.74	-1.55	***	-1.57	***	***	***	-1.52	-1.63	-1.74
30	-1.87	. . .	-1.75	-1.58	***	-1.60	***	***	***	-1.56	-1.64	-1.75
31	-1.53	. . .	-1.75	. . .	-1.87	. . .	***	***	. . .	-1.59	. . .	-1.76
MEAN	-1.70	-1.77	-1.63	-1.66	-1.76	-1.60	-1.76	-1.73	***	-1.57	-1.54	-1.57

ITEM DEW-POINT TEMPERATURE (1.6 m HEIGHT)
 INSTRUMENT HUMIDITY AND TEMPERATURE PROBE (CVS-HMP45D)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-8.3	-4.0	-0.7	5.5	7.2	13.8	19.4	18.4	19.6	14.5	14.1	3.6
2	-5.8	-4.9	-6.4	-2.2	9.1	12.4	18.9	19.7	16.6	17.9	7.8	3.6
3	-5.5	-0.8	-4.8	-2.0	11.4	15.9	18.9	21.3	16.2	18.8	0.4	7.5
4	-5.9	-1.5	2.5	5.3	11.0	15.9	19.4	21.7	17.4	14.8	3.6	5.5
5	-4.0	0.1	-1.4	4.7	13.7	16.4	19.3	22.3	18.5	15.3	6.2	6.6
6	-3.2	-4.1	5.6	4.6	13.8	17.2	20.6	23.0	17.3	15.9	7.6	5.8
7	-4.1	-4.2	0.2	5.2	13.5	15.4	21.8	23.4	18.5	15.7	10.4	-2.4
8	-3.5	-7.5	1.7	7.6	14.9	14.2	22.2	22.7	19.0	13.8	11.7	-1.9
9	0.5	-6.2	4.0	3.8	13.8	16.1	22.6	23.6	16.5	8.6	11.8	3.4
10	-4.6	-3.2	2.2	3.4	14.6	17.6	21.8	24.4	12.7	9.6	13.5	3.0
11	-9.4	-1.7	-9.6	7.0	14.4	18.1	16.3	22.3	13.3	8.6	15.3	5.7
12	-4.1	-3.6	-7.0	9.7	16.5	17.8	18.1	20.8	17.5	10.6	6.9	8.5
13	-6.8	3.5	1.3	9.2	12.8	16.5	21.4	22.8	15.0	13.0	7.0	1.7
14	-4.6	3.0	5.2	12.4	1.4	16.1	17.8	21.6	13.4	12.0	12.8	0.4
15	-11.4	3.1	-4.2	11.8	3.8	16.0	20.9	19.2	16.4	9.3	5.8	-3.1
16	-9.1	0.7	2.2	9.7	10.0	15.2	18.7	19.3	15.0	8.0	4.0	0.1
17	-5.4	-11.4	0.1	8.4	15.8	15.8	20.5	19.5	12.3	12.3	6.4	-0.6
18	-0.7	-8.3	3.3	8.5	12.4	16.7	22.7	19.6	14.8	13.7	3.7	-6.1
19	-0.5	-8.4	8.2	8.1	13.3	16.4	22.6	20.4	15.5	11.2	3.0	-7.5
20	-3.5	1.6	7.5	9.3	11.5	17.2	18.6	20.2	10.5	11.6	2.6	-6.2
21	-0.3	-9.3	-0.9	13.3	11.6	20.9	19.0	22.4	14.2	10.1	2.4	***
22	4.2	-3.1	9.3	13.0	14.1	19.7	21.1	22.3	15.7	11.1	1.8	***
23	7.6	2.9	-2.6	3.2	16.3	21.7	21.3	18.2	15.8	9.9	5.4	-2.7
24	1.7	0.5	-1.0	5.1	15.4	18.6	22.9	18.4	15.5	10.1	5.7	-2.3
25	-4.4	4.3	3.0	9.8	13.5	19.3	23.1	14.9	14.9	9.6	9.6	-1.6
26	-5.0	2.0	-4.0	6.4	11.6	18.6	23.1	16.4	16.1	12.8	8.6	1.8
27	-3.7	0.5	-2.6	-1.4	13.2	18.3	22.4	17.5	15.6	9.3	7.3	-0.7
28	-0.7	-1.0	-3.8	-0.1	14.2	19.9	22.8	19.2	15.7	8.8	5.4	1.5
29	4.5	. . .	-5.5	2.7	15.5	19.4	23.6	20.1	18.6	12.0	1.1	-3.0
30	8.2	. . .	-4.2	3.9	16.1	19.3	22.2	18.2	15.6	12.5	6.3	-0.8
31	3.7	. . .	2.0	. . .	16.1	. . .	18.4	17.0	. . .	12.0	. . .	-4.5
MEAN	-2.7	-2.2	0.0	6.2	12.7	17.2	20.7	20.3	15.8	12.0	6.9	0.5

ITEM DEW-POINT TEMPERATURE (12.3 m HEIGHT)
 INSTRUMENT HUMIDITY AND TEMPERATURE PROBE (CVS-HMP45D)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-8.8	-4.6	-1.0	5.2	6.8	13.4	18.8	18.1	19.1	13.7	13.6	3.7
2	-6.0	-5.2	-6.9	-2.7	8.9	12.0	18.2	19.3	16.3	17.3	7.2	3.5
3	-5.8	-1.0	-5.2	-2.3	11.1	15.5	18.3	20.8	15.9	18.2	-0.2	7.0
4	-6.5	-1.7	2.1	5.2	10.7	15.4	18.8	21.3	16.7	14.1	3.3	5.3
5	-4.1	0.1	-1.2	4.5	13.2	15.9	18.8	21.8	18.2	14.7	5.9	6.2
6	-3.6	-4.5	5.2	4.6	13.4	16.7	20.1	22.5	16.9	15.3	7.6	5.7
7	-4.4	-4.3	-0.3	5.2	13.2	14.8	21.3	22.9	18.2	15.2	10.3	-2.9
8	-3.5	-7.7	1.4	7.5	14.4	13.7	21.7	22.2	18.6	13.3	11.6	-2.4
9	0.3	-6.7	3.7	3.9	13.4	15.6	22.0	23.1	16.1	7.3	11.8	3.0
10	-4.8	-3.4	1.9	3.5	14.2	17.2	21.3	23.9	11.9	8.9	13.3	2.6
11	-9.7	-1.8	-10.0	7.2	14.1	17.7	15.5	21.9	12.4	8.1	14.7	5.2
12	-4.0	-3.6	-7.2	9.5	16.1	17.4	17.4	20.3	17.0	10.0	6.5	8.2
13	-6.7	3.4	1.1	9.5	12.0	16.0	21.0	22.3	14.2	12.4	6.6	0.9
14	-4.4	2.7	4.7	12.1	0.3	15.5	17.2	21.1	12.8	11.5	12.4	-0.1
15	-11.6	2.9	-4.5	11.5	3.3	15.4	20.7	18.6	15.8	8.7	5.2	-3.8
16	-9.2	0.7	2.2	9.5	9.6	14.5	18.6	18.8	14.5	7.6	3.1	0.0
17	-5.5	-11.7	-0.2	7.8	15.4	15.2	20.2	19.1	11.8	11.9	5.9	-0.7
18	-0.9	-8.6	3.2	8.2	11.7	16.1	22.3	19.2	14.3	13.3	3.0	-6.6
19	-0.9	-8.6	8.5	8.1	13.0	15.9	22.3	20.0	15.0	10.9	2.2	-8.3
20	-3.9	1.5	7.1	9.1	11.2	16.7	18.4	19.8	10.1	11.5	2.4	-6.9
21	-0.6	-9.9	-1.1	13.0	11.1	20.2	18.6	21.9	13.6	9.6	1.9	***
22	3.7	-3.3	9.1	12.6	13.7	19.1	20.5	21.8	15.0	10.8	1.4	***
23	7.4	2.5	-3.2	2.7	15.8	21.0	20.7	17.5	15.2	9.6	5.3	-2.7
24	1.4	0.1	-1.2	4.8	14.7	17.9	22.4	17.9	15.2	9.6	5.7	-2.3
25	-4.9	3.9	2.8	9.3	13.0	18.6	22.7	14.2	14.7	9.2	9.5	-1.8
26	-5.6	1.8	-4.7	5.9	11.1	18.1	22.8	15.9	15.8	12.3	8.4	1.9
27	-3.9	0.2	-2.9	-2.2	12.8	17.7	22.0	17.2	15.2	8.7	7.6	-0.4
28	-0.8	-1.4	-4.1	-0.6	13.8	19.2	22.3	18.6	15.3	8.5	5.1	0.9
29	4.2	. . .	-5.8	2.5	15.0	18.7	23.2	19.6	18.0	11.8	0.8	-3.5
30	7.7	. . .	-4.5	3.6	15.5	18.6	21.9	17.7	15.0	12.3	5.8	-0.9
31	3.4	. . .	1.7	. . .	15.6	. . .	18.1	16.5	. . .	12.0	. . .	-4.5
MEAN	-3.0	-2.4	-0.3	5.9	12.2	16.7	20.3	19.9	15.3	11.6	6.6	0.2

ITEM DEW-POINT TEMPERATURE (29.5 m HEIGHT)
 INSTRUMENT HUMIDITY AND TEMPERATURE PROBE (CVS-HMP45D)
 UNIT (°C)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-9.2	-5.2	-1.4	4.9	6.4	13.2	18.7	18.1	19.1	13.6	13.5	3.9
2	-6.3	-5.6	-7.4	-3.3	8.5	11.7	18.1	19.3	16.4	17.2	7.2	3.6
3	-6.3	-1.3	-5.6	-3.2	10.9	15.3	18.2	20.8	15.9	18.2	-0.9	6.9
4	-7.1	-1.9	1.9	4.8	10.3	15.4	18.7	21.3	16.6	13.8	3.2	5.3
5	-4.6	0.0	-1.5	4.2	13.1	15.8	18.7	21.8	18.2	14.7	5.7	6.0
6	-4.2	-4.9	5.0	4.2	13.2	16.6	20.1	22.5	16.8	15.2	7.7	5.7
7	-4.8	-4.6	-0.9	4.9	13.0	14.7	21.2	22.8	18.3	15.1	10.4	-3.8
8	-3.7	-8.1	1.0	7.3	14.3	13.6	21.6	22.2	18.6	13.2	11.8	-2.8
9	0.1	-7.3	3.3	3.6	13.1	15.5	21.9	23.1	16.1	6.7	11.8	2.8
10	-5.0	-3.9	1.4	3.2	14.0	17.2	21.2	23.8	11.5	8.4	13.4	2.2
11	-10.1	-2.2	-10.5	7.0	14.0	17.6	15.1	21.9	11.9	7.9	14.7	5.1
12	-4.2	-3.9	-7.6	9.4	15.9	17.4	17.0	20.3	17.0	9.9	6.4	8.1
13	-7.1	3.3	0.7	9.3	11.6	15.8	20.7	22.3	13.9	12.2	6.6	0.3
14	-4.6	2.2	4.3	11.8	-0.4	15.5	16.9	21.0	12.5	11.4	12.5	-0.5
15	-12.0	2.5	-5.0	11.1	2.8	15.3	20.5	18.5	15.8	8.5	4.7	-4.4
16	-9.4	0.5	1.8	9.3	9.3	14.4	18.4	18.7	14.3	7.3	2.5	-0.1
17	-5.8	-12.0	-0.9	7.5	15.2	15.1	20.1	19.0	11.4	11.8	5.7	-0.9
18	-1.2	-9.0	2.7	8.0	11.4	16.0	22.2	19.1	14.1	13.1	2.7	-7.1
19	-1.3	-8.9	8.4	8.0	12.8	15.9	22.2	20.0	14.9	10.7	1.7	-8.7
20	-4.3	1.2	6.7	8.8	11.0	16.7	18.3	19.6	9.8	11.3	2.2	-7.5
21	-1.0	-10.5	-1.7	12.8	10.7	20.1	18.5	22.0	13.5	9.4	1.6	***
22	3.6	-3.9	9.0	12.3	13.5	19.0	20.4	21.8	14.9	10.8	1.1	***
23	7.2	2.2	-3.8	2.2	15.7	21.0	20.6	17.0	15.1	9.5	5.2	-3.0
24	1.2	-0.2	-1.5	4.4	14.3	17.8	22.4	17.6	15.1	9.5	5.8	-2.4
25	-5.3	3.7	2.7	9.1	12.8	18.6	22.7	13.9	14.7	9.2	9.5	-1.9
26	-6.1	1.6	-5.5	5.5	10.9	17.8	22.8	15.8	15.8	12.3	8.4	1.9
27	-4.2	0.1	-3.3	-3.0	12.6	17.6	22.0	17.1	15.3	8.1	7.9	-0.2
28	-1.0	-1.8	-4.4	-1.3	13.7	19.1	22.3	18.3	15.2	8.2	5.1	0.6
29	4.0	• • •	-6.2	2.0	14.9	18.6	23.2	19.5	18.1	11.9	0.5	-3.8
30	7.6	• • •	-4.9	3.3	15.5	18.5	21.9	17.7	14.9	12.4	5.7	-1.0
31	3.1	• • •	1.3	• • •	15.5	• • •	18.2	16.5	• • •	12.2	• • •	-4.5
MEAN	-3.3	-2.8	-0.7	5.6	11.9	16.6	20.2	19.8	15.2	11.4	6.5	0.0

ITEM PRECIPITATION (0.3 m HEIGHT)
 INSTRUMENT RAIN GAUGE (TRIPPING BUCKET TYPE) (B-011-00)
 UNIT (mm)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.0	0.0	0.0	14.5	0.0	7.5	1.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0
2	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	4.5	9.0	0.0	15.5	6.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	6.0	0.0	18.5
4	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	1.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	15.0
6	0.0	0.0	44.0	0.0	0.5	3.0	4.0	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	0.0	12.5	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	0.5	2.5	0.0	0.0	74.5	0.0	0.0
9	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	60.5	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.5	0.0	0.0	55.0	21.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	4.5	0.0
14	0.0	0.0	20.5	19.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	0.0
15	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	11.5	0.0	2.5	8.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	14.5	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0
20	0.0	13.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	3.0	0.0	0.0	9.5	0.0	64.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	5.0	0.0	2.0	0.5	0.0	1.5	2.5	9.5	0.0	0.0	0.5	0.0
23	16.5	12.5	1.0	0.0	0.0	0.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	1.5	0.0	0.0	0.0	7.0	10.0	3.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
25	0.5	1.0	9.0	38.5	0.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0
26	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.5	0.5	0.0
27	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
28	0.0	3.0	0.0	0.0	3.0	9.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
29	0.5	• • •	0.0	0.0	28.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
30	28.0	• • •	0.0	0.0	0.5	5.5	0.0	6.5	1.0	0.0	3.0	0.0
31	41.0	• • •	0.0	• • •	44.0	• • •	0.0	37.0	• • •	0.0	• • •	0.0
TOTAL	115.5	52.5	89.5	119.5	109.0	145.0	37.0	138.5	8.5	179.0	96.5	57.5

ITEM ATMOSPHERIC PRESSURE (1.5 m HEIGHT)
 INSTRUMENT BAROMETER (PTB210)
 UNIT (hPa)
 YEAR 2009

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1003	1013	1018	1008	1020	1000	1000	1006	1010	1017	1007	1018
2	1006	1020	1017	1009	1018	1006	998	1005	1017	1008	1007	1020
3	1014	1014	1021	1018	1016	1005	1003	1006	1016	1003	1022	1008
4	1016	1018	1013	1014	1016	1002	1005	1004	1011	1012	1026	1011
5	1015	1013	1020	1007	1013	1003	1012	1006	1006	1015	1020	1013
6	1017	1012	1008	1008	1010	998	1014	1009	1004	1015	1019	1005
7	1021	1014	1009	1012	1006	1002	1010	1007	1003	1012	1019	1014
8	1023	1011	1018	1016	1000	1010	1005	1007	997	990	1018	1021
9	1012	1014	1016	1019	1008	1011	1002	1008	1001	1003	1014	1019
10	997	1005	1006	1018	1008	1005	997	1006	1003	1011	1012	1021
11	1008	1006	1013	1018	1010	995	1007	1003	1007	1014	1007	1017
12	1008	1011	1023	1014	1005	999	1010	1003	1004	1014	1022	1008
13	1011	1009	1019	1005	999	999	1006	999	1005	1008	1020	1011
14	1014	997	999	1002	1004	1004	1009	1003	1012	1010	999	1012
15	1015	1007	1010	995	1016	1008	1003	1010	1007	1013	1005	1014
16	1019	1004	1010	1005	1018	1011	1004	1012	1006	1012	1015	1010
17	1020	1014	1010	1012	1005	1012	1006	1014	1012	1008	1012	1007
18	1022	1015	1016	1013	1001	1013	1004	1014	1010	1000	1014	1004
19	1007	1019	1011	1014	1005	1011	999	1012	1005	1004	1021	1006
20	1017	999	1006	1015	1010	1010	1004	1008	1007	1006	1020	1004
21	1019	1010	1015	1006	1013	1003	1000	1002	1015	1013	1016	***
22	1016	1014	1002	998	1008	999	997	1000	1017	1016	1023	***
23	1003	1011	1001	1008	1003	994	1004	1002	1017	1016	1020	1014
24	1006	1019	1011	1019	1003	999	1005	1005	1015	1018	1022	1014
25	1014	1008	1007	1006	1006	1005	1004	1009	1013	1019	1012	1013
26	1016	1016	1008	987	1011	1007	1004	1011	1012	1007	1019	1008
27	1020	1017	1011	998	1013	1007	1004	1009	1019	1003	1018	1012
28	1028	1019	1013	1011	1012	1006	1005	1006	1018	1020	1015	1005
29	1024	. . .	1017	1018	1007	1006	1004	1007	1014	1021	1019	1013
30	1016	. . .	1021	1021	1003	1003	1003	1011	1018	1020	1016	1007
31	1000	. . .	1019	. . .	997	. . .	1007	1006	. . .	1020	. . .	995
MEAN	1014	1012	1012	1010	1009	1005	1004	1007	1010	1011	1016	1011

2009 年度 陸域環境研究センターセミナーの記録

2009. 5. 26 第 102 回セミナー・水文談話会 参加者 18 名

吉澤拓也（（独）産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ）

「地下水シミュレーションによる深部地下水流動評価の現状と課題および対応策について
－はざとり法による移流・拡散場の区分と深部地下水流動の定量的評価手法に関する研究－」

1. はじめに

深部の地下水流動は原位置データが乏しくその挙動には不明な点が多い。これは深部の地下水流動速度が非常に小さく、原位置での流速の精度良い評価は高度な技術を要するのみならず、多大の時間と経費を必要とするためである。また、近年沿岸域での塩水侵入や放射性廃棄物地層処分および二酸化炭素地中貯留への関心が高まり、こうした社会的な背景からも深部の地下水流動の把握が重要となっている。筆者は深部の地下水流動の評価に際して、浅部と深部を区分して評価するアプローチ（はざとり法）を提案した。このアプローチでは流速が大きく変化する境界で浅部と深部を区分し、深部の地下水の低流動域を抽出することで、深部地下水流動の特性（低流速、密度差による駆動力など）に着目した検討が行える。

2. 研究方法

解析対象は関東平野の帯水層分布域とした。はざとり法の第 1 段階として深度 2,000 m までの連続したデータが得られ、地下水流動との理論的な関係が明らかになっており、かつ全国をカバーしたデータベースの存在する地下温度データを再現対象とした地下水流動・熱輸送解析により行うこととした。温度データを用いた流動場区分に次いで、第 1 段階で低流動域とされた帯水層を対象として（高流動域とされた帯水層をはざとって）塩分濃度データを再現対象とした地下水流動・物質輸送解析を行い地下水流速を定量的に評価した。

3. 結果

第 1 段階の解析の結果、関東平野の帯水層のうち上総層群上部層の下面を境界として、上部と下部で高流動域・低流動域に設定したモデルが最も良く地下温度分布を再現できた。次いで行った低流動域に区分された帯水層を対象とした地下水流動・物質輸送解析では、塩分濃度データの再現性は、帯水層の水理パラメータよりも上部からの浸透量に対する反応が大きくなった。そのため、再現精度の向上には上部からの浸透量のより精度良い把握が重要と考えた。

4. まとめ

これまでの研究結果より浅部と深部を区分して評価するはざとり法により深部地下水流動を定量的に評価する手法開発に目処が立ったが、先述した上部からの浸透量との関係や、水収支および深部地下水の流出先についてさらなる検討が必要である。また本手法は全国規模への適用を想定しており、そのための方策もあわせて検討していく。

日本の平野・盆地の地下には、厚い堆積物が伏在し、周囲の山地から流動する地下水が賦存している。平野・盆地に賦存する地下水資源には、地球温暖化に伴い増加する水資源のリスクへの対処などから関心が集まっている。また、地下水資源に対する関心は、未利用水源の賦存量として、これまで利用されてきた浅部地下水から深部地下水へと広がっている。地層中に賦存する地下水の流動は、堆積物の分布・性質に規制されている。それは、深部地下水の流動においても同様であり、例えば、本邦最大の地下水盆である関東平野では、地下水が流動する深度が3,500 m程にまで達し、地層の傾く箇所では、地下水の流動が速く、天水から深部地下水への涵養量も大きい。このことから、未利用水源としての深部地下水を含め、平野・盆地に賦存する地下水資源を活用するには、浅部から深部にまで及ぶ堆積物の分布・性質を把握する必要がある。しかし、堆積物の深度分布は、これまでに主な平野・盆地ごとに評価がなされていたが、日本列島に及ぶ広域を統一的に評価した研究がなされていなかった。

このため、本研究では、日本列島の平野・盆地における新第三系以降の堆積物の深度分布を、地質図とボーリングデータを用いて地球統計学的手法によって補間し、地質時代ごとに堆積物の深度分布図を作成した。地質時代の区分は、産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）（2003）による100万分の1数値地質図の区分に従った。深度分布図は、グリッドデータとして整理し、作成した堆積物の深度が、上位の堆積物の深度より浅い場合には、同位置における上位の深度に置き換えた。また、地表に対象より古い時代の地質が分布する場合には、同位置における地表面の標高に置き換えた。境界面の補間精度は、境界データを標本値とした交差検証で評価した。標本値と推定値の差は、外れ値によって全体の範囲が大きくなるものの、中央値が0付近、第1四分位点と第3四分位点の範囲が20～28であった。このため、補間の精度は、概ね良好と判断された。

作成した深度分布図を見ると、平面的な深度分布の特徴は、東日本が西日本より標高の低い箇所が多く、その範囲が広がった。地質時代ごとの特徴は、時代が古いほど標高の低く分布する範囲が広く、地形の区分（流域界となる様な尾根）を越えて連続した。深度分布は、深部ほど広く連続するため、深部の地下水資源の開発においては、広範囲にわたる影響評価を行う必要が考えられる。また、作成した深度分布図から求められる地層の体積と仮定した有効間隙率を掛け合わせることで、地質時代ごとに堆積物の地下水賦存量を見積ることができるようになった。本研究では、統一的な観点で全国規模の評価を行ったため、データの少ない地域や新たに調査を行うことが困難でデータの増加が認められない地域でも、同じ視点から評価できるようになった。

2010. 2. 24 第 103 回セミナー 兼 第 67 回計算科学コロキウム 参加者 6 名

Siegfried Raasch (Leibniz Universität Hannover, Germany)

High Resolution Large-Eddy Simulations of the Atmospheric Boundary Layer Using Massively Parallel Computer Architectures

Large eddy simulation (LES) has been for many years a tool for fundamental research of turbulent flows. Compared with Reynolds-averaged (RANS) models, LES models are based on the volume-averaged Navier Stokes equations which allows them to explicitly resolve all scales of turbulent motions larger than the applied filter width. Eddies smaller than this filter width have to be parameterized by a so-called subgrid-scale (SGS) model. If the main energy containing eddies are well resolved by the numerical grid, the turbulent transport by the SGS eddies is small compared with the total transport, and the quality of the SGS model becomes less important. Initially applied to study convective atmospheric boundary layers, LES is meanwhile used in many fields of science. This is mainly the consequence of the increase in available computer resources because LES requires both large amount of memory and CPU time. State-of-the-art massively parallel computers now offer a wide variety of new applications. Currently available computer resources allow for numerical grids with up to 20003 grid points and even more. Beside for the fundamental research of neutral and stable stratified flows, where the typical eddy size is much smaller than for pure convectively driven flows, LES is now used in Meteorology also for more applied topics like air pollution modeling, flow around buildings, and wind energy. Another frequently used method is to use LES generated turbulence data as pseudo observations e. g. in order to improve turbulence parameterizations in RANS models, or to prove micrometeorological methods as e. g. The eddy correlation method or the footprint analysis. The presentation will give a short introduction to LES and the PARallelized LES-Model PALM, including numerical methods and parallelization techniques and will then focus on studies with very high spatial resolution currently done at IMUK, e. g. simulations of coherent structures in the convective boundary layer, footprint calculations and turbulence over heterogeneous landscape.

論文リスト

本論文リストは当センターを利用した研究で、2009年4月から2010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

- 浅沼 順・高田久美子・福井秀典 (2010): 北東ユーラシア半乾燥草原地帯における地表面水収支の支配要因. 土木学会水工学論文集, **54**, 385-390.
- 足立幸穂・木村富士男・田中美紀 (2009): ダイナミカルダウンスケール手法による過去20年の気候再現性及び冬季積雪量予測の評価. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 51-60.
- 岩上 翔・林 敦史・熊坂秀人・ジェラスイヘンダ・山中 勤 (2009): 栃木県那須扇状地における地表水の水質分布特性ならびに簡易水質測定方法の比較. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 3-12.
- 岩田拓記・山中 勤・杉田倫明 (2009): 航空写真判読を用いた過去のつくば市における粗度長変化の推定. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 13-18.
- 小暮哲也 (2009): 八重山諸島・黒島および竹富島に分布する琉球石灰岩の物理・力学的性質. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 61-68.
- 田崎俊介・八反地 剛・若月 強・松倉公憲 (2009): 北海道日高地方の礫岩地域と凝灰質泥岩地域における表層崩壊地周辺の地中水の挙動. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 19-27.
- 田中 正 (2009): 地下水流動システムと地下水利用のありかた. 都市問題研究, **61** (7), 16-27.
- 田中 正 (2009): 今後望まれる地下水利用方策. 河川レビュー, **146**, 12-19.
- 田中 正 (2010): 湧水と地下水の保全. 「平成21年度板橋区環境白書」, 東京都板橋区資源環境部環境保全課, 1-4.
- 中家 渉・青木 久・早川裕弐・松倉公憲 (2009): 連打法によるエコーチップ硬さ試験機の反発値と微小窪みとの関係. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 29-36.
- 野林 暁・林 陽生 (2009): 小規模なヒートアイランドにおける力学的混合効果に関する観測. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 75-81.
- 平田昌弘・岸川沙織・近藤昭彦・山中 勤・開發一郎・ダムディンバトムンフ・本江昭夫 (2009): モンゴル高原中央部における植物の生育に影響を及ぼす自然環境の諸要因の分析. 砂漠研究 (日本沙漠学会誌), **19**, 403-411.
- 松倉公憲 (2009): 斜面発達モデル構築における空間-時間置換の援用: 研究小史. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 37-49.
- 山中 勤 (2009): 第5章 水蒸気の同位体を利用した大気境界層研究. 「気象学における水安定同位体比の利用」(芳村 圭・一柳錦平・杉本敦子 編, 気象研究ノート, 220号), 日本気象学会, 61-76.
- 若狭 幸・前門 晃・青木 久・小暮哲也・松崎浩之・松倉公憲 (2009): 喜界島の台座岩に載る巨礫の¹⁴C年代: 巨礫の供給源に関する

- 予察の研究. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 69-74.
- Chikirbene, A., Tsujimura, M., Charef, A. and Tanaka, T. (2009): Hydro-geochemical evolution of groundwater in an alluvial aquifer: Case of Kurokawa aquifer, Tochigi prefecture, Japan. *Desalination*, **246**, 485-495, doi:10.1016/j.desal.2008.04.057.
- Hosono, T., Buapeng, S., Onodera, S., Yamanaka, T., Shimada, J., Nakano, T. and Taniguchi, M. (2009): Sulfate and strontium isotopic variations of groundwater in the Lower Central Plain, Thailand. *IAHS Publ.* **329**, 284-290.
- Iwata, H., Asanuma, J., Ohtani, Y., Mizoguchi, Y. and Yasuda, Y. (2009): Vertical length scale of transporting eddies for sensible heat in the unstable roughness sublayer over a forest canopy. *Journal of Agricultural Meteorology*, **65**, 1-9.
- Saigusa, N., Ichii, K., Murakami, H., Hirata, R., Asanuma, J., Den, H., Han, S.-J., Ide, R., Li, S.-G., Ohta, T., Sasai, T., Wang, S.-Q. and Yu, G.-R. (2009): Impact of meteorological anomalies in the 2003 summer on Gross Primary Productivity in East Asia. *Biogeosciences*, **7**, 641-655.
- Saito, I., Mizutani, K., Wakatsuki, N. and Kawabe, S. (2009): Measurement of vertical temperature distribution using a single pair of loudspeaker and microphone with acoustic reflection. *Japanese Journal of Applied Physics*, **48**(7), 07GB05-1-4 (2009).
- Sekiguchi, T. (2009): Transient 3D-patterned ripples appear during deformation of a 2D ripple field under wave-induced oscillatory flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, **34**, 839-847.
- Subagyono, K. and Tanaka, T. (2009): Pore size distribution and flow characteristics in a forested headwater catchment. *Journal Riset Geologi dan Pertambangan*, **19**, 59-67.
- Tanaka, T. ed. (2009): *Extended Abstracts of UNESCO Chair Workshop on International Strategy for Sustainable Groundwater Management: Transboundary Aquifers and Integrated Watershed Management*. TERC, Univ. Tsukuba, 68p.
- Tanaka, T., Jayakumar, R. and Erdenechimeg, B. eds. (2009): *Proceedings of UNESCO Chair Workshop on Sustainable Groundwater Management in Arid and Semi-arid Regions. IHP VII Technical Document in Hydrology*, No.1, UNESCO Office Beijing 2009, Document No. CN/2009/SC/RP/3, UNESCO Office Beijing and TERC, Univ. Tsukuba, 64p.
- Tanaka, T., Jayakumar, R. and Tsujimura, M. eds. (2009): *Proceedings of UNESCO Chair Workshop on International Strategy for Sustainable Groundwater Management: Transboundary Aquifers and Integrated Watershed Management. IHP VII Technical Document in Hydrology*, No.2, UNESCO Office Beijing 2009, UNESCO Office Beijing and TERC, Univ. Tsukuba, 107p.
- Tanaka, T., Kakubari, J., Hamada, Y. and Iida, S. (2009): Effect of plant species on distribution of water quality in a vadose zone. *Proceedings of the 2nd International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology: Ecosystems Interfacing with Groundwater and Surface Water*, 49-52.
- Tanaka, T., Tsujimura, M. and Yamanaka, T. (2009): Characteristics of infiltration and groundwater recharge processes in arid and semi-arid regions. *Proceedings of UNESCO*

Chair Workshop on Sustainable Groundwater Management in Arid and Semi-arid Regions, IHP VII Technical Document in Hydrology, No.1, UNESCO Office Beijing 2009, Document No. CN/2009/SC/RP/3, UNESCO Office Beijing and TERC, Univ. Tsukuba, 21-30.

Tsujimura, M. and Tanaka, T. (2009): Groundwater resources issues in semi-arid regions from the view point of sustainability. *Ibid*, 45-50.

Tsujimura, M. and Tanaka, T. eds. (2009): *For the Sustainable Groundwater Resources Management: Through the Japanese Activities on Countermeasures for the Remediation of Public Hazards. Report of ACCU 2008 Student Exchange Programme, TERC, Univ. Tsukuba, 85p. + Annex + CD-ROM.*

Ueyama, M., Ichii, K., Hirata, R., Takagi, K., Asanuma, J., Machimura, T., Nakai, Y., Ohta, T., Saigusa, N., Takahashi, Y. and Hirano, T. (2009): Simulating carbon and water cycles of larch forests in East Asia by the BIOME-BGC model with Asia Flux data. *Biogeosciences*, **7**, 959-977.

Wasklewicz, T. A. and Hattani, T. (2009): High-resolution analysis of debris flow-induced channel changes in a headwater stream, Ashio Mountains, Japan. *The Professional Geographer*, **61**, 231-249. doi:10.1080/00330120902743225

Yamanaka, T. and Mikita, M. (2009): Disturbance of groundwater flow system due to excessive pumping in the Bangkok metropolitan area, Thailand. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Human Impacts on Urban Subsurface Environments*. Taipei, Republic of China, 17-20 November, 14.

博士論文

Muhamad, Askari (2010): Infiltration and soil water movement underneath Japanese red pine and oak trees. 148p. (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

Ohba, Masamichi (2010): Impact of basin-scale air-sea interaction between the Pacific and Indian ocean on the seasonally asymmetric transition process of ENSO. 114p. (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

修士論文

秋山友宏 (2010): 音響波プローブを用いるミストの定量計測に関する研究. 35p. (筑波大学大学院システム情報工学研究科)

井口達也 (2010): 滝つぼ形成実験: 細粒研磨材・流量の影響. 55p. (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

石井直貴 (2010): 異なる気候条件下における大気・植生フィードバックの定量化. 28p. (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

金城 伸 (2010): 無線同期式音響波プローブを用いる気温・風向・風速計測システムに関する研究. 36p. (筑波大学大学院システム情報工学研究科)

亀山裕樹 (2010): 野鳥観察用パッシブソナーに関する研究. 47p. (筑波大学大学院システム情報工学研究科)

笹山啓太 (2010): 少数マイクロフォンアレイによる音源方向推定システムの構築に関する研究. 38p. (筑波大学大学院システム情報工学研究科)

田崎俊介 (2010): 北海道日高地方の表層崩壊地における地中水の挙動と斜面安定性について. 87p. (筑波大学大学院教育研究科)

依田知浩 (2010): 筑波山西斜面における斜面温

暖帯の発生メカニズムに関する研究. 38p.
(筑波大学大学院生命環境科学研究科)

卒業論文

大城慶彦 (2010): 牛久沼流域における河川水質
の空間分布と土地利用の関係. 48p. (筑波
大学第一学群自然科学類)

大森 浩 (2010): つくば市における湧水の湧出
量と水質の時間変動特性. 36p. (筑波大学
第一学群自然科学類)

木村建夫 (2010): 植物根系における吸水深度の
選択を規定する要因について. 56p. (筑波
大学第一学群自然科学類)

竹上 秀 (2010): デルタの発達における波浪の
影響. 60p. (筑波大学第一学群自然科学類)

2009 年度 主な行事

年 月 日	記 事
2009. 4. 19	科学技術週間・センターの一般公開
2009. 5. 14	筑波大学附属高校見学（16名）
2009. 6. 1	岩上 翔準研究員着任
2009. 6. 19	東京都立青山高校見学（43名）
2009. 6. 24	平成 21 年度第 1 回陸域環境研究センター運営委員会
2009. 6. 24	東京成徳大学深谷高校見学（28名）
2009. 7. 1	鈴木智恵子研究員着任
2009. 7. 14	圃場整備（草刈）
2009. 7. 16	駿台甲府高校見学（32名）
2009. 7. 24	千葉市立千葉高校見学（22名）
2009. 7. 30	大学説明会（地球学類）（30名）
2009. 7. 30	気象大学校見学（14名）
2009. 8. 20	静岡県立下田高校見学（45名）
2009. 8. 25	神奈川県立生田高校見学（34名）
2009. 8. 28	埼玉県立越谷北高校見学（42名）
2009. 9. 11	熊本県立第二高校見学（45名）
2009. 10. 6	UNESCO Chair ワークショップ開催
2009. 10. 7	島根県立出雲高校見学（44名）
2009. 10. 15	島根県立浜田高校見学（35名）
2009. 10. 21	群馬県立桐生高校見学（44名）
2009. 10. 28	群馬県東京農大第二高校見学（33名）
2009. 10. 31	木暮哲也准研究員他機関へ就職のため退職
2009. 11. 4	圃場整備（草刈）
2009. 11. 13	栃木県立栃木高校見学（42名）
2009. 11. 30	平成 21 年度第 2 回陸域環境研究センター運営委員会
2009. 12.	「陸域環境研究センター報告第 10 号」発行
2009. 12.	実験室整備
2010. 1.	資料室・学生部屋整備
2010. 1. 25	平成 21 年度第 3 回陸域環境研究センター運営委員会
2010. 2. 3	筑波大学附属図書館ボランティア見学（21名）
2010. 2. 16	若狭 幸準研究員着任
2010. 2. 26	陸域環境研究センターホームページリニューアル
2010. 3.	「陸域環境研究センター第 2 期中期計画報告書」発行
2010. 3. 8	平成 21 年度陸域環境研究センター年次研究報告会
2010. 3. 8	田中 正センター長退職記念講演・退職記念祝賀会
2010. 3. 25	平成 21 年度第 4 回陸域環境研究センター運営委員会
2010. 3. 26	講演会「『水の世紀』に日本はいかに貢献できるか」共催
2010. 3. 29	タイの Srinakharinwirot University より公式訪問（25名）
2010. 3. 31	田中 正陸域環境研究センター長 定年退職

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、データ利用申請書 (http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/use_application/) 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・水収支データベース (http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/databasehtml/database/) にアクセスする。 ●月ごとのデータは、(http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/hojyo/archives1.1/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、2008年4月のデータは、D08-04.V1.1.DAT である。 ●年ごとのデータは、(http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/hojyo/archives1.1/yearly/) に保存されている。
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。

連絡先：筑波大学陸域環境研究センター事務室

電 話：029-853-2532

F A X：029-853-2530

e-mail: jimu@suiri.tsukuba.ac.jp

筑波大学陸域環境研究センター報告

第11号

2010年12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@suiiri.tsukuba.ac.jp
<http://www.suiiri.tsukuba.ac.jp/>

© 筑波大学陸域環境研究センター，2010

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.11

December

2010

Contents

Foreword	Tadashi TANAKA	1
Long-term Change in Composition of Tree Species in the Japanese Red Pine Forest Adjacent to Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba	Atsushi HAYASHI and Tadashi TANAKA	3
Nitrate Concentration of Surface Water and Land Use in Sugadaira Wetland	Sho IWAGAMI, Tadashi TANAKA, Masaaki KUREHA, Jun KANEKO and Makoto MIKITA	11
Environmental Conditions of Field Experimental Sites for Rock Weathering in the Abukuma Mountains	Tsuyoshi HATTANJI, Sanae AKIYAMA and Yukinori MATSUKURA	21
Manual of Handmade Field-portable Forced Ventilation Thermometer	Masanori MURAKAMI and Fujio KIMURA	29
Observational Data of Heat Balance and Water Balance -2009-	Chieko SUZUKI, Sho IWAGAMI and Tsutomu YAMANAKA	35
Lecture Summary		61
Literature List		65
Miscellaneous		69



Copyright © Terrestrial Environment Research Center,
The University of Tsukuba, Ibaraki 305-8577 JAPAN, 2010