

長期データを用いた草地の熱収支の変動について

Changes of Heat Balance of Grassland using Long-Term Data

桜 久美子*・新村 典子**・木村 富士男***

Kumiko SAKURA, Noriko NIIMURA and Fujio KIMURA

I. はじめに

地表面における熱収支は地表面付近の気温変化に重要な役割を果たしており、その変化は接地層での過程を通して対流圏全体の変動にも関わっていると考えられている。そのため地表面付近の熱収支を調べることは局地的な気象だけでなく、地球規模の気候変動を理解することへもつながる。

正味放射量は直接大気を暖める顕熱や間接的に大気を暖める潜熱などに変換される。顕熱によって下層大気は直接暖められ、これによって気温が変化する。潜熱によって地表面付近の水は蒸発し、植生のある場所では植物の蒸散を通して土壤中の水分は大気中に放出される。地表面の種類や土壌水分、気温などによって正味放射量が顕熱と潜熱に配分される比率（ボーエン比）も異なり、乾燥している地表面では顕熱に対する配分が多く、植生面では潜熱に対する配分が多い。

これまで集中観測により様々な地表面における熱収支の日変化や季節変動に関する研究は多くなされてきた。例えば、古藤田（1984）では晴天日の草地における熱収支式各項の日変化を季節ごとに解析している。これらの研究においては、熱収支の各項を直接には観測せず、気温・降水量・日照時間などの気象データより算出しているものも少なくない。

熱収支の長期的な観測には測器の管理面など、多

くの困難が伴うため長期に観測を行っている場所が少なく、長期データはほとんど存在しない。そのため、熱収支の長期的なデータ解析はこれまでほとんどなされていないのが現状である。

筑波大学水理実験センターでは、1981年よりオンライン・リアルタイム処理方式の気象日報作成装置（古藤田ほか、1983；鳥谷ほか、1989）によって、圃場における熱収支・水収支に関する観測データが1時間ごとにフロッピーディスクに収録されている。近藤（1998）は1991年から1996年の観測データを用いて蒸発散量と降水量、葉面積指数との関係を明らかにしている。武井（1996）は、1881年から1995年まで14年間の観測データを用い気象要素の季節変化および経年変化に関する解析を行い、気温、特に日最低気温が14年間を通じ上昇傾向にあることを明らかにした。また、冬季の夜間においては下向き長波放射量および地温が増加傾向にあり、放射冷却の効果が弱くなってきていることを示唆している。しかしながら、これらの研究では熱収支式各項の変動に関する解析はほとんどなされていない。

そこで本研究では、水理実験センターにおいて長期間にわたり観測されているデータを用い、草地における気象要素、特に熱収支式各項の変動について明らかにすることを目的とする。また、これらの結果をもとに、水理実験センターにおける熱収支の長

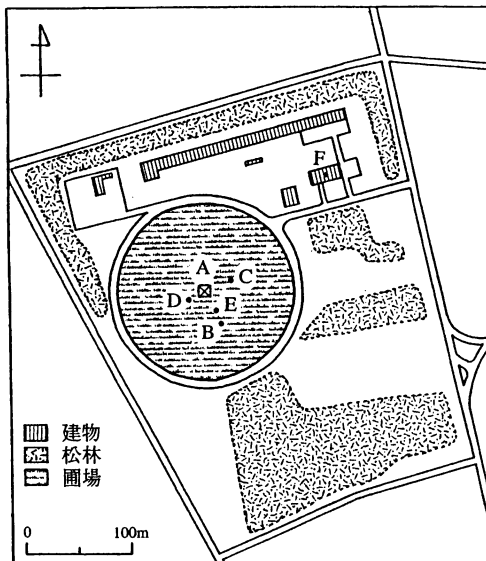
*筑波大学環境科学研究科 **筑波大学水理実験センター ***筑波大学地球科学系

期観測のありかたについて改めて考察したい。

II. データの解析方法

2.1 観測地点

観測地点である筑波大学水理実験センターの観測圃場は、北緯 $36^{\circ}06'35''$ 、東経 $140^{\circ}06'00''$ 、標高27.0mに位置する(第1図)。圃場は直径160mの円形であり、その外周は圃場からの表層流出水を観測するためのコンクリート製の側溝に取り囲まれている。この観測圃場が作られた当時は、圃場中心が外周側溝の天端高度(標高27.0m)より約0.5m高くなるように盛土し、表層水が側溝に集まるように整地されていた。しかし、1988年4月に圃場土壌の転地換えが行われており、現在ではほぼ平坦になっていると考えられる。また、圃場の植生は、当初、多年生のライグラスを主とする牧草であったが、現在ではヨモギ、ススキ、セイタカアワダチソウなど、多種の雑草が混在した草原となっている。1992年までは、圃場内の植生を均一に保つための草刈りが夏と冬の年2回行われていたが、1993年以降は植物生態



第1図 筑波大学水理実験センター観測圃場の概観と測器の配置。ただし、Aは観測鉄塔、Bは正味放射計・全天日射計、Cは地中熱流板・地温計、Dはライシメーター、Eは雨量計、Fは日照計である。

研究のため、冬に一度だけ刈り取りが行われるようになった。これによって気象観測の障害となる木本植物は除去されているが、草本は圃場周辺部より盛んに侵入しており、その構成種や量が少しずつ変化している(赤沢・及川, 1995)。

2.2 解析した観測項目および測器

使用した水理実験センターのデータは、正味放射量、顕熱フラックス、蒸発散量、地中熱流量、全天短波放射量、気温、地温、日照時間、降水量である。これらの観測測器および設置場所は第1表の通りである。また、当センターの南東約7kmに位置する気象庁高層気象台において観測されている下向き長波放射量、全天日射量(=全天短波放射量)、放射収支(=正味放射量)のデータを使用し、水理実験センターのデータとの比較検討を行った。これらの観測測器および測定方法は以下に示す。また、下向き成分の放射計は高層気象台庁舎の3階屋上(約12m)、上向き成分の放射計は、庁舎から北東約150m離れた芝地面の露場に設置されている(高層気象台, 1996)。

[下向き長波放射量(高層気象台)]

干渉フィルター材をシリコンドームの内側に蒸着した精密赤外放射計によって測定されている。ただし1992年12月までは有効放射計の下側の受光体を半球黒体で覆うことによって測定されていた。

[全天日射量(高層気象台)]

自己直達日射計による直達日射量と、遮蔽装置をつけた全天日射計による天空散乱日射量から計算によって求められている。

[放射収支(高層気象台)]

先に述べた下向き長波放射量、全天日射量および高度1.5mに設置した赤外放射計による上向き赤外放射量、高度約2mに下向きに設置した全天日射計による地面反射日射より、計算によって求められている。

2.3 解析方法

長期的な変化を調べるために、月平均値を求める。

第1表 解析に使用した水理実験センターの観測データとその測器および設置場所

測定項目	測器	測定高度 (m)	測定地点 (第一図)	出力形態
正味放射量	通風型熱電対式放射温度計	1.5	B	時間積算値
顕熱フラックス	超音波風速温度計	1.6	A	時間平均値
蒸発散量	ライシメーター(直径2m, 深さ2m)		D	時間積算値
地中熱流量	熱電対式地中熱流板	-0.02	C	時間積算値
全天短波放射量	熱電対式全天日射計	1.5	B	時間積算値
気温	通風式白金抵抗温度計	1.6	A	時間平均値
地温	防水型白金抵抗温度計	1.6	C	時間平均値
降水量	転倒ます型隔測自記雨量計		E	時間積算値
日照時間	回転式日照計	5.0	F	時間積算値

月平均値を求める場合は各解析項目の解析日数をそろえたほうがよい。しかし水理実験センターのデータには測器交換やメンテナンスなどによる欠測があり、すべての解析項目について解析日数を揃えようとすると欠測日数が多くなり、月平均値を求めるのに適当ではない。そのため、正味放射量・顕熱フラックス・地中熱流量に関しては3項目のうち1項目でも欠測があればすべての解析項目について欠測とし、その他の解析項目についてはその項目のみを欠測とした。また、1日に1時間でも欠測があれば、その日すべての時間を欠測とした。観測データは1981年から気象日報装置によって収録されているが、1988年以前は欠測が多いため、解析期間は1989年から1997年とした。欠測値を除いた1カ月間の1時間データをすべて積算し、積算時間数で除した値を求め、その値を月平均値として利用した。

顕熱フラックスは、超音波風速温度計によって測定された $w'T'$ より、式(1)より求めた(渦相関法)。

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

ただし、 H は顕熱フラックス (Wm^{-2})、 ρ は空気の密度 ($=1.275kgm^{-3}$)、 c_p は空気の定圧比熱 ($=1004JK^{-1}kg^{-1}$) を表す。

蒸発散量については、データに異常値が多いため、筑波大学水理実験センター報告の熱収支・水収支観測資料(1989年-1997年)における欠測日を本解析でも欠測とした。ライシメーターによる蒸発散量より、式(2)を用いて潜熱フラックスを計算した。

$$LE = L \times ET \quad (2)$$

ただし、 LE は潜熱フラックス (Wm^{-2})、 L は蒸発の潜熱 ($=2.5 \times 10^6 JKg^{-1}$)、 ET は蒸発散量 (Wm^{-2}) を表す。

1994年以降の蒸発散量のデータは特に異常値が多く(田・杉田, 1996)、長期変動を調べるのが難しい。そこで、ここでは式(3)の熱収支式より潜熱フラックスを求めた。

$$LE = Rn - H - G \quad (3)$$

ただし、 LE は潜熱フラックス (Wm^{-2})、 Rn は正味放射量 (Wm^{-2})、 H は顕熱フラックス (Wm^{-2})、 G は地中熱流量 (Wm^{-2}) を表す。

Ⅲ. 結果

(1) 熱収支項と気象要素の経年変化

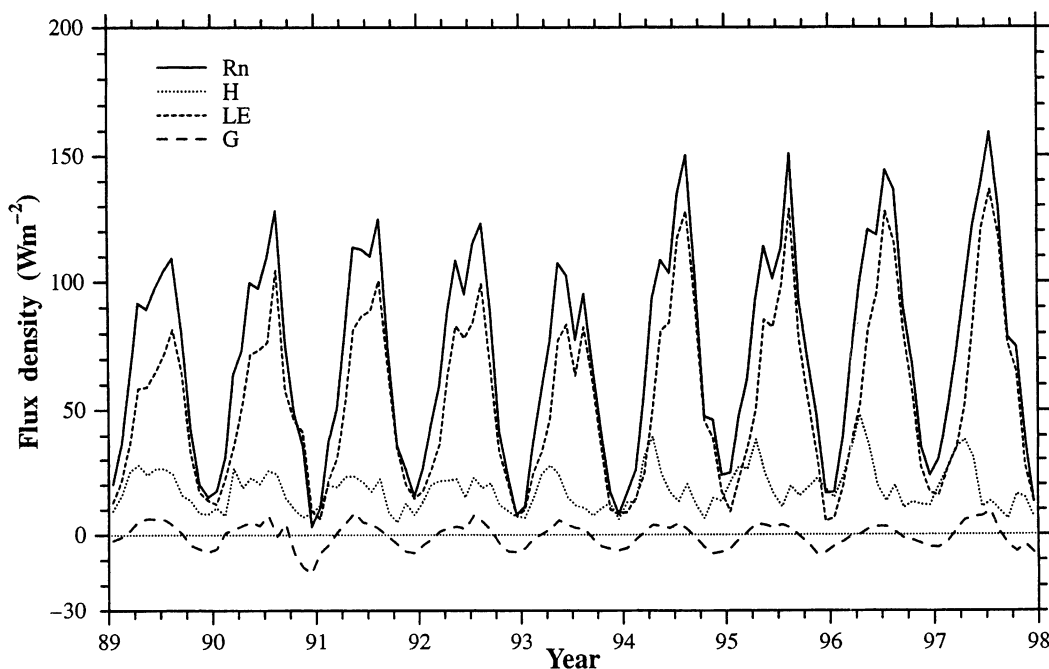
第2図は1989年から1997年に水理実験センターで観測されたデータより、熱収支式の各項の月平均値を求め、その経年変化を示したものである。正味放射量 (R_n)、顕熱フラックス (H)、潜熱フラックス (LE)、地中熱流量 (G) のいずれの項も冬季から夏季にかけて増加し夏季に最大値をとり、夏季から冬季にかけて減少し冬季に最小値となる季節変化がみられた。また、1993年の各項の絶対値が小さいこと、1994年から正味放射量および潜熱フラックスの絶対値が急激に増加していること、1993年から顕熱フラックスの季節変化が変化していることが目を引く。

正味放射量の月平均値の経年変化をみると、12月頃に年最小値 ($5 \sim 25 \text{Wm}^{-2}$) となり、負の値にはならない。その後増加するが、6月頃になると一時的に $10 \sim 20 \text{Wm}^{-2}$ 減少し、8月に年最大値となる。

その後減少を始め12月に再び年最小値となる。各年の年最大値は1989年から1992年の期間においては 120Wm^{-2} 程度であるが、1993年には 100Wm^{-2} と低く、この年のみ6月に年最大値をとる。また1994年以降の年最大値は 150Wm^{-2} 程度とやや大きい値に転じている。

顕熱フラックスは、1989年から1992年までは12月から2月頃にかけて増加し、9月から11月頃にかけて減少する傾向にあり、これは他の熱収支項の季節変化とほぼ同じである。しかし、1993年以降その季節変化は、1月から3月にかけて急増し、3月から6月にかけては急減する傾向に変化している。また、年最小値は $5 \sim 10 \text{Wm}^{-2}$ と毎年ほぼ変わらないが、年最大値は1992年以前には 25Wm^{-2} 程度であったものが、1994年以降は 40Wm^{-2} 程度と大きくなり、3月の値のみ大きい値を示している。

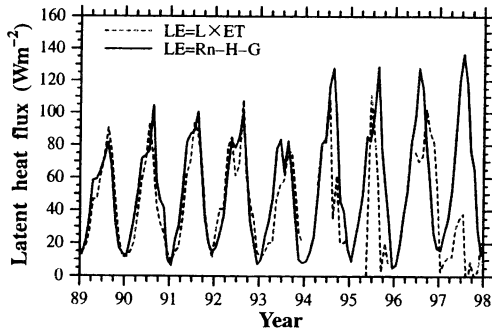
熱収支法より求めた潜熱フラックスの経年変化も、12月頃に年最小値 ($5 \sim 15 \text{Wm}^{-2}$) となり7月頃に年最大値 ($80 \sim 140 \text{Wm}^{-2}$) を示す季節変化をして



第2図 水理実験センターにおける熱収支式各項の月平均値の経年変化 (1989-1997年)。ただし、 R_n は正味放射量、 H は顕熱フラックス、 LE は潜熱フラックス、 G は地中熱流量を示す。

いる。潜熱フラックスは正味放射量とは異なり、6月頃の減少はあまりみられない。1993年には年最大値が 80Wm^{-2} と例年に比べ小さい。1994年以降は 120Wm^{-2} 以上と大きい値を示しており、これは正味放射量と同じ様な変化傾向を示している。

ここでは潜熱フラックスを熱収支式の残差項より求めたが、ライシメーターによる蒸発散量から求めた値とも比較した(第3図)。ライシメーターの値の信頼性が高い(檜山ほか, 1993)と考えられる1993年以前の値を見ると、熱収支式の残差項の値(実線)と蒸発散量によって求めた潜熱フラックスの値(破線)はそれほど差がみられなかった。

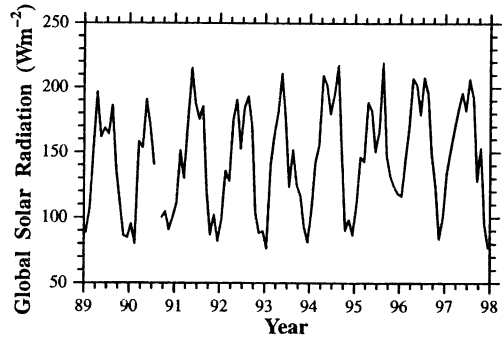


第3図 熱収支式の残差項より求めた潜熱フラックスとライシメーターの蒸発散量から求めた潜熱フラックスとの比較(1989-1997年)。

地中熱流量も12月頃に最小値(-8Wm^{-2} 程度)になるが、最大値をとるのは正味放射量や潜熱フラックスのそれよりも早い5月~7月であり、その値は $5\sim 10\text{Wm}^{-2}$ である。夏季は正の値を示し、地表面から地中に向かって熱が輸送されているが、冬季は負の値を示し、地中から地表面に向かって熱が輸送されていることがわかる。1994年から1996年にかけて、地中熱流量の値が次第に減少しているが、これは地中熱流板が従来の位置よりも深く埋まっていたためと考えられる(新村・杉田, 1997)。

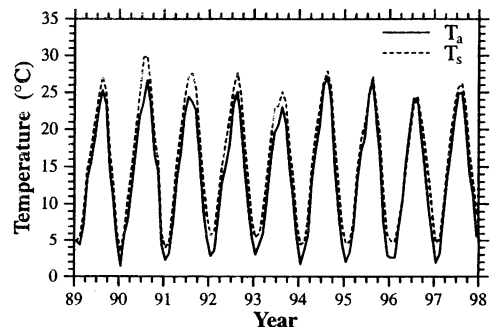
第4図は全天短波放射量の経年変化である。全天短波放射量は冬に最小値となるが、12月頃にわずかに上昇することが多い。その後5月頃に約 200Wm^{-2} と大きな値となるが、6月頃に $150\sim 180\text{Wm}^{-2}$ まで一度減少し、8月頃に再び約 200Wm^{-2}

になる。5月と8月の値がほぼ同じであることがわかる。1993年は①5月には例年と同じく 200Wm^{-2} まで増加しているが、②夏季(7~9月)は 150Wm^{-2} 程度で、これは平年値より 50Wm^{-2} 低い値である。



第4図 水理実験センターにおける全天短波放射量の経年変化(1989-1997年)。

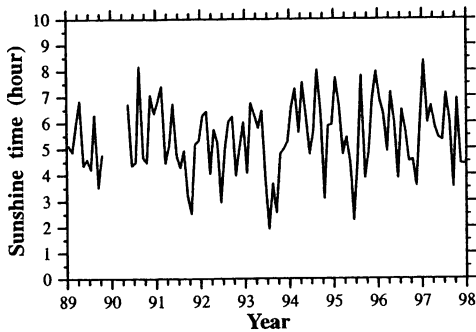
第5図は高度1.6mにおける気温および深度2cmにおける地温の経年変化である。気温は1月に最小値($1\sim 3^\circ\text{C}$)、7月に最大値($23\sim 28^\circ\text{C}$)となる。先に示した正味放射量や全天短波放射量の季節変化と異なる点は、6月頃に減少がみられず、なめらかな年変化を示していることである。1990, 1994, 1995各年の夏は例年と比べ気温が高く、逆に1993年は気温が低かった。地温も気温と同じく1月に年最小($3\sim 6^\circ\text{C}$)、7月に年最大($25\sim 30^\circ\text{C}$)となる。年最小値、最大値ともに気温に比べて 2°C ほど高い。



第5図 水理実験センターにおける気温 T_a (高度1.6m) および地温 T_g (深度2cm) の経年変化(1989-1997年)。

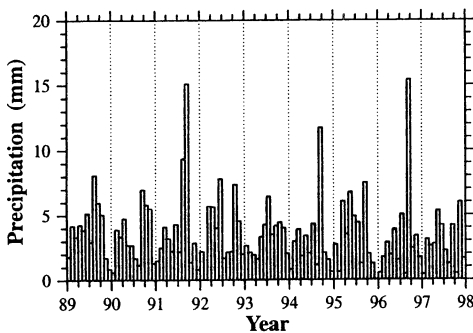
第6図に日照時間の経年変化を示す。日照時間は

月によるばらつきが大きく、明瞭な季節変化はみとめられない。ここには図は示さないが、月別平年値からの偏差を調べると1993年の夏は全体的に日照時間が少なく、1994年の春から夏にかけては多くなっていたことが示されていた。



第6図 水理実験センターにおける日照時間の経年変化(1989-1997年).

第7図は降水量の経年変化である。9月に降水量が非常に多く、8月は比較的少ない。また冬季も降水量が少ないことがわかる。月別平年値からの偏差を調べたが、年による大きな変化はみとめられなかった。



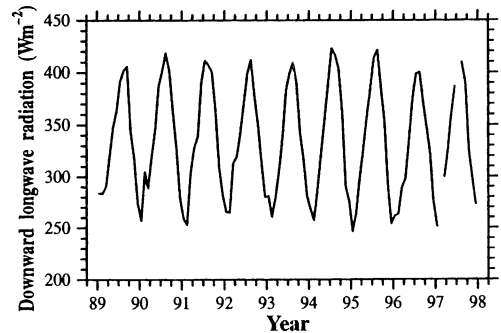
第7図 水理実験センターにおける降水量の経年変化(1989-1997年).

以上の熱収支項と気象要素の経年変化の結果をまとめると、特に1993年、1994年頃を境に熱収支項の季節変化パターンが急変していることがわかる。

(2) 1993年・1994年の変化について

(1) でみられた1993年、1994年の変化を調べるために、まず熱収支を支配する R_n の変化に注目した。正味放射量は全天短波放射量、上向き短波放射

量、下向き長波放射量、上向き長波放射量の収支量であるため、下向き長波放射量の影響も受けるが、水理実験センターでは下向き長波放射量は測定していない。そこで、下向き長波放射量の経年変化を調べるため、高層気象台で観測されているデータを使用することとした。第8図は高層気象台における下向き長波放射量の経年変化を示したものである。気温(第5図)と同様に、1月に年最小値($250 \sim 270 \text{Wm}^{-2}$)、7月に年最小値($400 \sim 430 \text{Wm}^{-2}$)となる季節変化がみとめられる。1990年・1994年・1995年の夏季に値が大きく、1993年の夏季には小さくなっているが、正味放射量・潜熱フラックス・顕熱フラックスのように1994年を境に測定値の振幅が大きくなる変化はしていない。



第8図 高層気象台における下向き長波放射量の経年変化(1989-1997年).

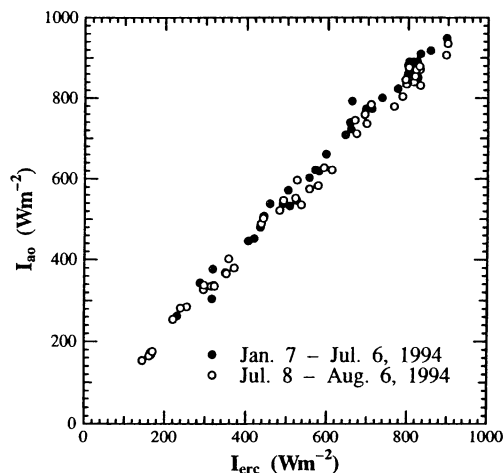
熱収支項および気象の各要素のみの解析からは、1993年・1994年の変化の原因については見出せなかった。そこで、観測の記録を記した資料(観測日誌)をもとに、測器のメンテナンス、トラブルなど熱収支観測に影響を及ぼす可能性のあった要因について調べた。第2表は圃場内の草刈りおよび全天日射計・正味放射計のセンサー交換の日時を示したものである。第2表からもわかるように圃場の草刈りが1992年までは年1回であったが、1993年から年2回となった。また変更の時期は不明だが、刈り取りの方法も変わった。以前は草刈り後に刈り取った草を圃場外に取り出していた(杉田・私信, 1998)が、少なくとも1996年以降は圃場内に残したままにしてある。さらに、1994年7月7日に全天日射計および正味放

第2表 圃場内の草刈りおよび全天日射計・正味放射計のセンサー交換の日時

	年	月 · 日	備 考
草 刈 り	90	9月 5日～20日	
	91	5月30日・31日, 6月 8日・14日	
		11月 7日・ 9日・12日	
	92	6月22日・23日	
		10月 7日・ 9日・15日	方法の変更?
	93	10月21日・25日・26日	
	95	1月27日～29日	
		12月 6日～ 8日	
96	11月18日		
97	12月 9日・10日		
センサー交換	94	7月 7日	
	97	8月 6日	

射計のセンサー交換が行われていた。

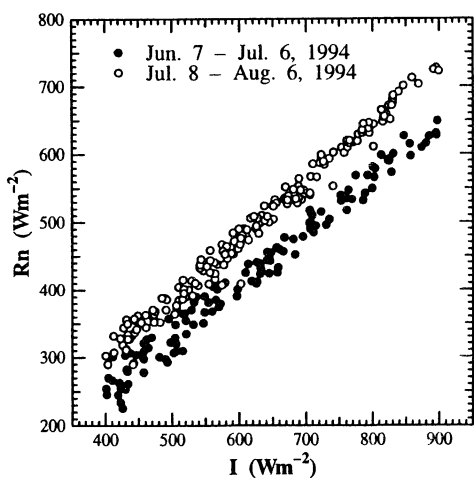
そこでセンサー交換による影響を調べるため、まず水理実験センターと高層気象台における全天短波放射量観測値を比較した。センサー交換前後のそれぞれ1ヶ月間について水理実験センターと高層気象



第9図 水理実験センターと高層気象台の全天短波放射量の比較。ただし、データは水理実験センターのセンサー交換前後各1ヶ月間における1時間測定値であり、日照時間が両地点で60分であった場合のみ使用した。

台における1時間値の比較を行った。筑波研究学園都市周辺における全天短波放射量の観測より、積雲や巻雲の影響により全天短波放射量は空間的に様とみなせないことが指摘されている (Hiyama *et al.*, 1995)。このため雲による影響を除くために、水理実験センターとアメダス観測地点である長峰 (高層気象台) の日照時間がいずれも60分の場合を抽出し、雲がほとんどないと考えられるデータのみにより比較を行った。抽出された値を散布図に表わしたものが第9図である。これをみると全天短波放射量は交換前後でほとんど変化していないことがわかる。

正味放射量は測定点の地表面状態によって異なるために、水理実験センターと高層気象台のデータを単純に比較することはできない。全天短波放射量データの高層気象台との比較により、交換前後での変化がほとんどないことが確かめられたので、正味放射計のセンサー交換の影響を調べるため、センサー交換前後各1ヶ月の水理実験センターにおける全天短波放射量と正味放射量の関係を調べた (第10図)。この期間は圃場の草刈りは行われていない。第10図より、センサー交換後に全天短波放射量に対し正味放射量の値が $50\sim 100Wm^{-2}$ 大きく観測されている



第10図 水理実験センターでの全天短波放射量と正味放射量の関係。ただし、データは水理実験センターのセンサー交換前後各1ヶ月における1時間測定値である。

ことがわかる。1994年7月7日には全天日射計と正味放射計の両方のセンサー交換が行われているが、センサー交換前後で全天短波放射量の変化はほとんどみとめられないが、正味放射量はセンサー交換後に大きめに測定されている。正味放射計のセンサーは経年劣化するため、現在は約3年ごとに交換が行われているが、観測日誌によると、1988年から1994年まではセンサーの交換が行われておらず、6年間同じセンサーによって測定されていたと考えられる。そのためセンサーの劣化が著しく、センサー交換直前には正味放射量の値が実際の値よりも小さく測定されていたと考えられる。

IV. 考察

水理実験センターにおける各熱収支項は、1993年の夏季に小さい値を示していること、1994年以降に大きくなっていることがわかった。気温の経年変化より、1993年は冷夏であり、1990年・1994年・1995年は暑夏であったことがわかる。1993年は6月から9月にかけて異常低温・台風・豪雨・長雨などの異常気象により、全国各地で記録的な農業被害が発生した。また、1994年は梅雨期に少雨、梅雨明け後に猛暑・少雨などの異常気象が発生し、1995年は梅雨

前線が活発に活動し、これが転じて梅雨明け後に高温・少雨にみまわれた。

全天短波放射量の変化が、地表面でのエネルギー配分を通して、正味放射量などの熱収支要素や気温などの気象要素にも影響を与えていることがよくわかる。

一方、正味放射量は1996年・1997年の夏季にも非常に大きい値を示している。近藤(1998)は、水理実験センターにおける正味放射量の観測値と計算値を比較し、観測値は年間を通じて平均的に約10 Wm^{-2} 大きいと報告している。このように正味放射計は測器による誤差があることも考えられるが、センサー交換からしばらく時間が経過している1996年・1997年にも測定値が大きくなっている。これは夏季に草刈りが行われなくなったことにより、地表面状態が変化したことが大きく影響していると考えられる。夏季の草刈りが行われなくなってからは、圃場の植生の草丈は年々増加しているといわれており、目視による著者らの計測によると1998年の夏には高いところでは2m近くにおよんでいた。1993年以降は夏季に草刈りが行われなくなったため草丈が高くなり、上向き長波放射を実効的に決めている地表面温度が低下している可能性が考えられる。

顕熱フラックスは草刈りの回数だけでなくその方法が変わった影響もあると考えられる。冬季の草刈り後、圃場内に残された草はしだいに枯れていき、地表面は枯れ草に覆われる。牧草と枯れ草では蒸発散量、アルベド、地表面温度が異なる。このような地表面の変化は熱収支へも変化をもたらすであろう。1993年以降の季節変化パターンの変化の原因を草の刈り取り方が変わったことによるものと考えると以下のように考えられる。冬季、草が刈り取られた後、地表面が非常に乾燥した状態になるため正味放射量の顕熱フラックスへの配分が大きくなる。その後顕熱フラックスは正味放射量の増加とともに増加する(1月～3月)。しかし、3月頃からは植物の成長が始まるため植物による蒸発散量が増える。そのため顕熱フラックスへの配分が減少する。このような過程で、顕熱フラックスの季節変化がおこったのではないだろうか。

V. まとめ

筑波大学水理実験センターで長期的に観測されている熱収支データを用いて草地における熱収支の変動についての解析を行った。

熱収支の各項はいずれも冬季に最小値となり夏季に最大値となる季節変化をしており、日射量・気温・地温も同様の季節変化がみとめられた。草地表面では正味放射量の大部分が潜熱に配分されている。また冷夏や暑夏などの異常気象の影響が熱収支の各項にも反映されていることがわかった。また、草刈りの回数・方法が変わった1993, 1994年頃から熱収支の各項が急激に変化しており、地表面状態の変化は想像以上に熱収支に大きな影響を与えることがわかった。

長期的解析に関しては、地表面状態の変化やセンサー交換の影響による変化が大きく気候変動に直接対応するような熱収支の長期変動を正確に見積もることはできなかった。ただし、水理実験センターのデータは条件を絞った期間の解析や、季節変化および数年スケールの変動の解析には十分利用できることが示唆された。

以下に水理実験センターのデータを用いて熱収支の長期変動の解析を行う上で、精度低下をもたらしている原因を挙げ、その改善策を提案したい。

1. センサー交換による影響

1994年7月のセンサー交換以降、正味放射量の測定値が大きくなっている。全天日射計については1995年3月2日より4月17日まで新旧センサーの比較観測を行い、センサーの感度低下による誤差があることが報告されている（遠藤ほか,1995）が、正味放射量についての比較観測は行われていない。このため正味放射計のセンサー交換後にデータの検定を行う必要がある。また、長期変動を調べるためには高層気象台で行われているように、正味放射量の4成分を別々に測定するなど、正味放射量のデータの精度を高める必要がある。

2. 圃場の地表面状態の保守に関する資料の不足

1993年以降、草刈りの回数や方法が変わったこと

により、熱収支に変化が現れていることが示唆された。しかしながら、方法が変わった時期や、草丈に関する資料が残されていないため、影響の程度が見積もれなかった。このため、圃場植生はできるだけ毎年同じ状態になるよう手入れするとともに、植生状態に関する詳しい記録を残していく必要がある。

3. 顕熱フラックスデータの検証

1994年より顕熱フラックスが急激に増加しており、この時期に超音波風速温度計になんらかの異常が発生している可能性が考えられる。超音波風速温度計の詳細な点検を行ったほうがよい。また、つくば周辺では冬季には北風、夏季には南風が卓越するが、1996年までは超音波風速温度計は1年中鉄塔の南東方向に設置されていた。このため、1996年以前の冬季の測定値は鉄塔の影響を受けていた可能性もある。鉄塔による影響の程度についても検討する必要がある。

4. ライシメーターの測定値の異常

ライシメーターの測定値に異常値が多いため、今回の解析に使用することができなかった。本研究においては、潜熱フラックスを熱収支式の残差より求めたが、蒸発散量のデータが利用可能であれば、逆に正味放射量を熱収支式より求めることができ、正味放射計の測定値との比較検討ができたと考えられる。今後の研究のためにもライシメーターの改善が望まれる。

謝辞

本研究は桜久美子による筑波大学第一学群自然科学類の卒業研究として行われた。

気象庁高層気象台観測第三課の上野丈夫主任研究員には日射・放射データの利用にあたり、便宜を図っていただいた。

筑波大学水理実験センター・日本学術振興会特別研究員の森牧人氏には、多くのご助言をいただき、特に作図に関しては大変お世話になった。

ご協力くださった皆様に、深く感謝いたします。

参考文献

- 赤沢孝之・及川武久(1995) : 水理実験センター草原生態系における主要植物種の現存量の季節変化とその生態的解析. 20, 69-77.
- 遠藤伸彦・檜山哲哉・杉田倫明・田少奮(1995) : 水理実験センターの全天日射計の感度について. 筑波大学水理実験センター報告, 20, 85-91.
- 檜山哲哉・杉田倫明・三上正男(1993) : ウエイングライシメーターと熱収支法による潜熱フラックスの比較. 筑波大学水理実験センター報告, 18, 41-53.
- Hiyama, T., Sugita, M., and Kayane, I. (1995) : Variability of surface fluxes within a complex area observed during TABLE 92. *Agriculture and Forest Meteorology*, 73, 189-207.
- 川村隆一・谷口真人・嶋田純(1990) : 熱収支・水収支観測資料—1989年—, 筑波大学水理実験センター報告, 14, 131-161.
- 近藤純正(1994) : 『水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—』朝倉書店, 348p.
- 近藤純正(1998) : 種々の植生値における蒸発散量の降水量および葉面積指数への依存性. 水文・水資源学会誌, 11, 679-693.
- 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.
- 古藤田一雄(1984) : 草地の熱収支と蒸発散. 地理学評論, 57, 611-627.
- 高層气象台(1996) : 日射・放射資料集.
- 新村典子・杉田倫明(1997) : 熱収支・水収支観測資料—1996年—, 筑波大学水理実験センター報告, 22, 45-75.
- 新村典子・杉田倫明(1998) : 熱収支・水収支観測資料—1997年—, 筑波大学水理実験センター報告, 23, 103-136.
- 新村典子・杉田倫明(1999) : ウエイングライシメーターの重量測定システムの更新とその蒸発散量測定値のばらつきの改善について. 筑波大学水理実験センター報告, 24, 107-115.
- 杉田倫明・嶋田純(1992) : 熱収支・水収支観測資料—1990年—, 筑波大学水理実験センター報告, 16, 125-153.
- 武井弘樹(1996) : 筑波大学水理実験センターにおける気象要素の季節変化と経年変動. 筑波大学環境科学研究科, 修士論文.
- 田少奮・杉田倫明・嶋田純(1993) : 熱収支・水収支観測資料—1991年—, 筑波大学水理実験センター報告, 17, 157-187.
- 田少奮・杉田倫明(1994) : 熱収支・水収支観測資料—1992年—, 筑波大学水理実験センター報告, 19, 69-98.
- 田少奮・杉田倫明(1995) : 熱収支・水収支観測資料—1993年—, 筑波大学水理実験センター報告, 20, 97-125.
- 田少奮・杉田倫明(1996) : 熱収支・水収支観測資料—1994年・1995年—, 筑波大学水理実験センター報告, 21, 61-115.
- 鳥谷均・川村隆一・嶋田純・谷口真人・西本貴久(1989) : 気象日報作成装置新システムについて. 筑波大学水理実験センター報告, 13, 147-158.

訂正

第 24 号 103 ページ，報文「長期データを用いた草地の熱収支の変動について」中の第 2 表「圃場の草刈りおよび全天日射量・正味放射量のセンサー交換の日時」のうちセンサー交換の年月日に一部記載もれがありました。第 24 号 103 ページの第 2 表を 差し替えていただきますようよろしくお願いします。

第 2 表 圃場の草刈りおよび全天日射量・正味放射量のセンサー交換の日時

	年	月・日	備考
	90	9月 5日～20日	
	91	5月30日・31日， 6月18日・14日	
		11月 7日・ 9日・12日	
草刈り	92	6月22日・23日	
		10月 7日・ 9日・15日	方法の変更?
	93	10月21日・25日・26日	
	95	1月27日～29日	
		12月 6日～ 8日	
	96	11月18日	
	97	12月 9日・10日	
	88	5月14日	
センサー交換	90	7月 4日	全天日射計
		7月18日	正味放射計
	94	7月 7日	
	97	8月 6日	