

水理実験センターの全天日射計の感度について

On the sensitivity of a pyranometer at ERC

遠藤 伸彦¹・檜山 哲哉²・杉田 倫明³・田 少奮⁴

Nobuhiko ENDO¹, Tetsuya HIYAMA²,
Michiaki SUGITA³ and Shao-Fen Tian⁴

1. はじめに

全天日射量は、地表面熱収支の入力エネルギーとして重要な物理量であり、また植生などの生態系へ与える影響を考える上でも極めて重要である。

水理実験センターでは、熱収支・水収支観測圃場において1978年以来、若干の欠測を含みつつも全天日射量を観測している。一般に全天日射計の測定感度が経年劣化を起こすことが報告されている(上野・志村, 1988)が、水理実験センターの全天日射計の経年変化についての検討はなされていない。

本報では、1995年4月の全天日射計の交換を機会に、これまで使用してきた測器(MS-43F型全天日射計、製造番号A84517、英弘精機製。以下旧ルーチンと呼ぶ)と測定感度が調整された同型の測器(製造番号A75510、以下新ルーチン)の比較観測を実施したので、旧ルーチン全天日射計の測定感部の感度低下について報告する。また、高層気象台で観測された全天日射量と比較することにより、全天日射計の感度の経年変化の検討をする。

2. 旧ルーチン全天日射計の感度

水理実験センター熱収支・水収支観測圃場の全天日射量の観測には、英弘精機製のMS-43F型全天日射計を採用している。同全天日射計の精度は約2.5%である。

1988年5月14日より1994年7月7日までの期間と1994年9月19日から1995年4月25日までの期間、旧ルーチンによって全天日射量の観測を行っていた。旧ルーチンは両期間を通じてセンサー感部の黒体の再塗装などは実施していない。

1994年7月7日から新ルーチンを全天日射量の観測に使用していたが、同年9月19日に被雷したため旧ルーチンと交換した。この測器の黒体の再塗装と調整を行い、1995年4月25日より新ルーチン測器として設置した。

1995年4月の測器更新に際して、3月2日より4月17日まで、観測圃場において両全天日射計を同一高度に並べ、比較観測を行った。データは1時間積算値を収録した。

比較観測期間中、低気圧の通過にともない曇天や

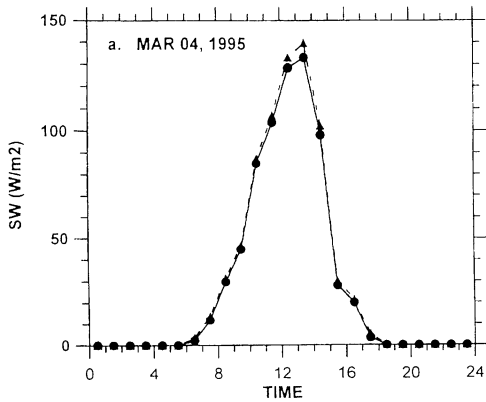
¹筑波大学大学院・地球科学研究科 ²筑波大学地球科学系・日本学術振興会特別研究員

³筑波大学地球科学系・水理実験センター ⁴筑波大学水理実験センター

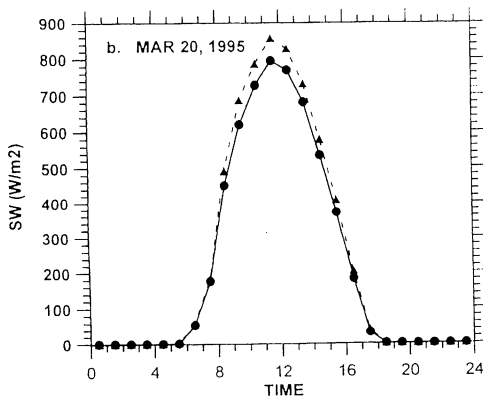
降水が周期的にみられ、全天日射量の絶対値が小さいものから大きいものまで取得できた。

全天日射量の絶対値の小さかった日と大きかった日の例を第1図に示す。縦軸は全天日射量（単位は Wm^{-2} ）、横軸は時間である。第1a図は3月4日の全天日射量の一時間積算値の時系列である。この日は関東の南岸を前線を伴う低気圧が通過したため雨となり一時雪も観測された。太陽高度が低い時刻には旧ルーチンが新ルーチンに比べ数 Wm^{-2} 低い値を示しているが、太陽高度の高い時間帯には $10Wm^{-2}$ 程度の差がみられた。

一方、高気圧に覆われた晴天日（3月20日、第1b図）には、太陽高度の高い時間帯には20-30



a



b

第1図 新旧ルーチン日射計で観測された1時間積算全天日射量の日変化。aは3月4日、bは3月20日。実線は旧ルーチン、破線は新ルーチン。

Wm^{-2} 程度、旧ルーチンが低い値を示した。しかし、両日とも両センサーの時間変化は同位相であり、両者の差はセンサー測定感部の感度の違いを表している。

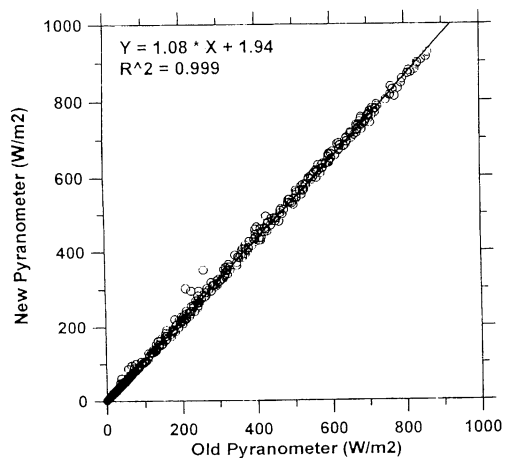
観測期間中の両センサーの観測値を散布図に示す（第2図）。縦軸は新ルーチン、横軸は旧ルーチンである。両センサーの観測値はほぼ直線上に分布する。全天日射計の感度は、各種の特性（例えば高度角特性、方位角特性や日射強度の変化にともなう感度値の非直線性;上野・志村、1988）をもつため、厳密には非線形であるが、観測値はほぼ直線上に分布するので一次直線で回帰すると

$$Y = 1.08 * X + 1.94$$

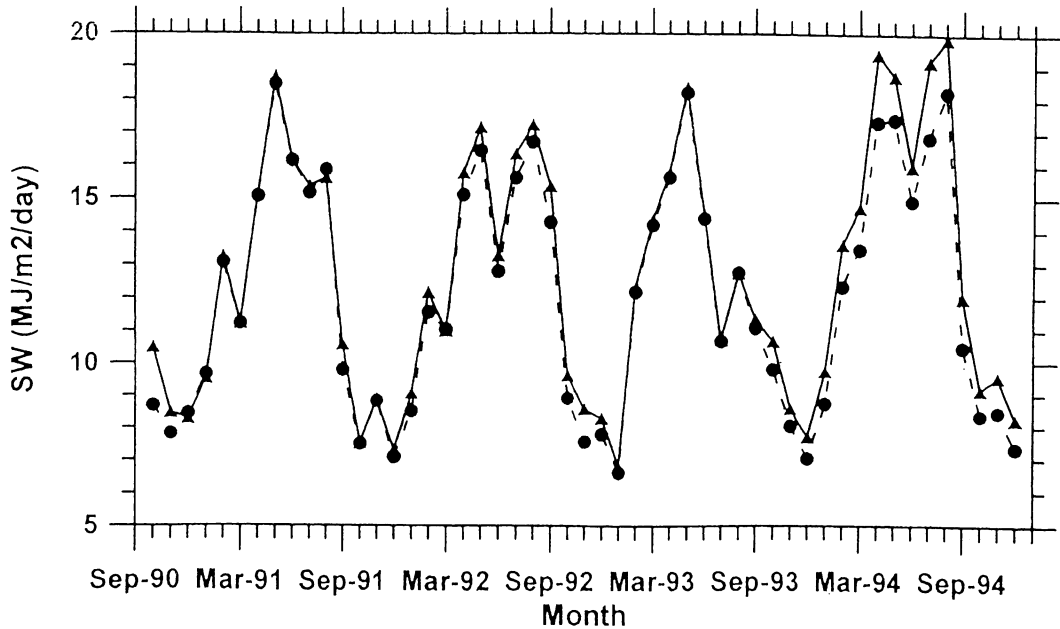
$$R^2 = 0.999$$

が得られる。ここで、 R^2 は決定係数である。この回帰の結果及びメーカー提供のセンサーの精度から、旧ルーチンは比較観測の期間中感度が約 $8 \pm 2.5\%$ 低いことがわかる。しかし、先にもふれたようにセンサー感部の非直線性により、日射量の絶対値が小さい時には感度低下は絶対値が大きいために比べ若干小さい。

測器の交換後旧ルーチンの測定感部の再塗装と調整を実施した。旧ルーチンの再塗装前の感度定数は英弘精機社内検定で $6.81mV/KWm^{-2}$ 、再塗装後の



第2図 比較観測期間中の新旧ルーチン日射計で観測された1時間積算全天日射量の比較。



第3図 水理実験センターと高層気象台の全天日射量の日積算値の月平均値の時系列。実線は高層気象台、破線は水理実験センター。

感度定数は気象庁検定で 7.08mV/KWm^{-2} であった。

旧ルーチンに 1000Wm^{-2} の入力があったとき、比較観測の時点の感度定数による出力は 6.81mV である。この出力を旧ルーチン設置時（1988年5月）の感度定数は再塗装後の感度定数と同じであったと仮定したとき、全天日射量に変換すると 973Wm^{-2} になる。つまり感度定数の劣化によって、比較観測の時点で全天日射量を約3%の過小評価したことになる。

そして先に得られた旧ルーチンと新ルーチンの約8%の違いのうち、約3%は旧ルーチンのセンサー感部の劣化によるもので、残りは新旧ルーチンの器差と考えられる。従って使用期間中の平均劣化は年約0.5%となる。

3. 全天日射計の感度の経年変化

水理実験センターの旧ルーチン全天日射計の感度の経年変化を調べるために、南方約7kmに位置する高層気象台で観測された全天日射量と比較した。

同気象台では、直達日射計と散乱日射計を用いて

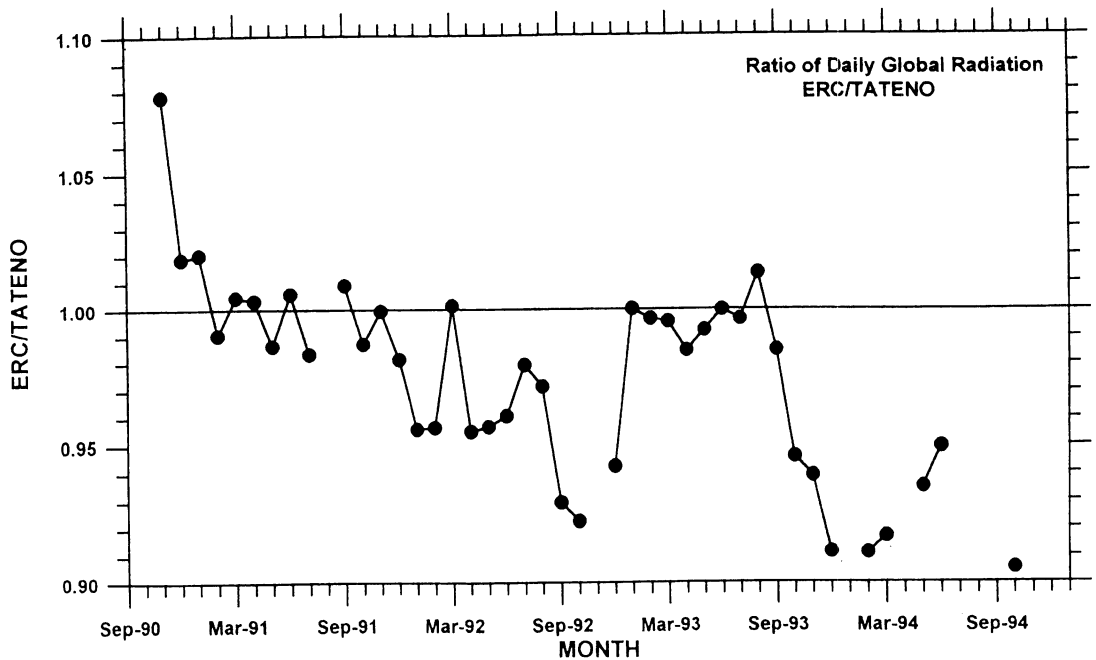
測定した直達日射と散乱日射から合成して全天日射量を求めている。この方法では全天日射計で測定するよりも精度よく全天日射量を測定できる（上野・志村, 1988）。

比較に用いた同気象台のデータは、1990年10月から1994年末までの1時間積算値と日積算値である。

水理センターと高層気象台の日積算全天日射量の月平均値の時系列を第3図に示す。1991年と1993年は両観測点の差は小さいが1992年と1994年の夏期には水理センターの方が $0.5\text{--}3\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ 低い。

第4図に、水理センターと高層気象台の日積算値の比の月平均値の時系列を示す。なお、標準偏差が非常に大きい月は除いてある。両観測点の比は、1991年には約1.0であるが、全体的には小さくなっていく傾向にある。1994年には0.92程度になっている。また、1992年以降夏に比が大きく冬に比が小さいという季節変化も見られる。

水理実験センターの圃場は、全周のうち南側半分を約15mの高さのアカマツ林に囲まれているため低太陽高度角の時間帯には、全天日射量の観測値に影響を与えている。このことはチャート紙の記録（第



第4図 日積算値の水理実験センターと高層気象台の比の月平均値。

5図)を参照すればよくわかる。この影響を取り除くために太陽が南中する時刻を含む11時から12時(以下南中時)の全天日射量の時間積算値についてみる。

水理実験センターと高層気象台の南中時の時間積算値の月平均値の比を第6図に示す。日積算値についてみたのと同様に比が小さくなる傾向が認められる。1990年末頃は比は約1.0であったが、1994年には約0.94に低下した。季節変化は1992年11月以降顕著である。

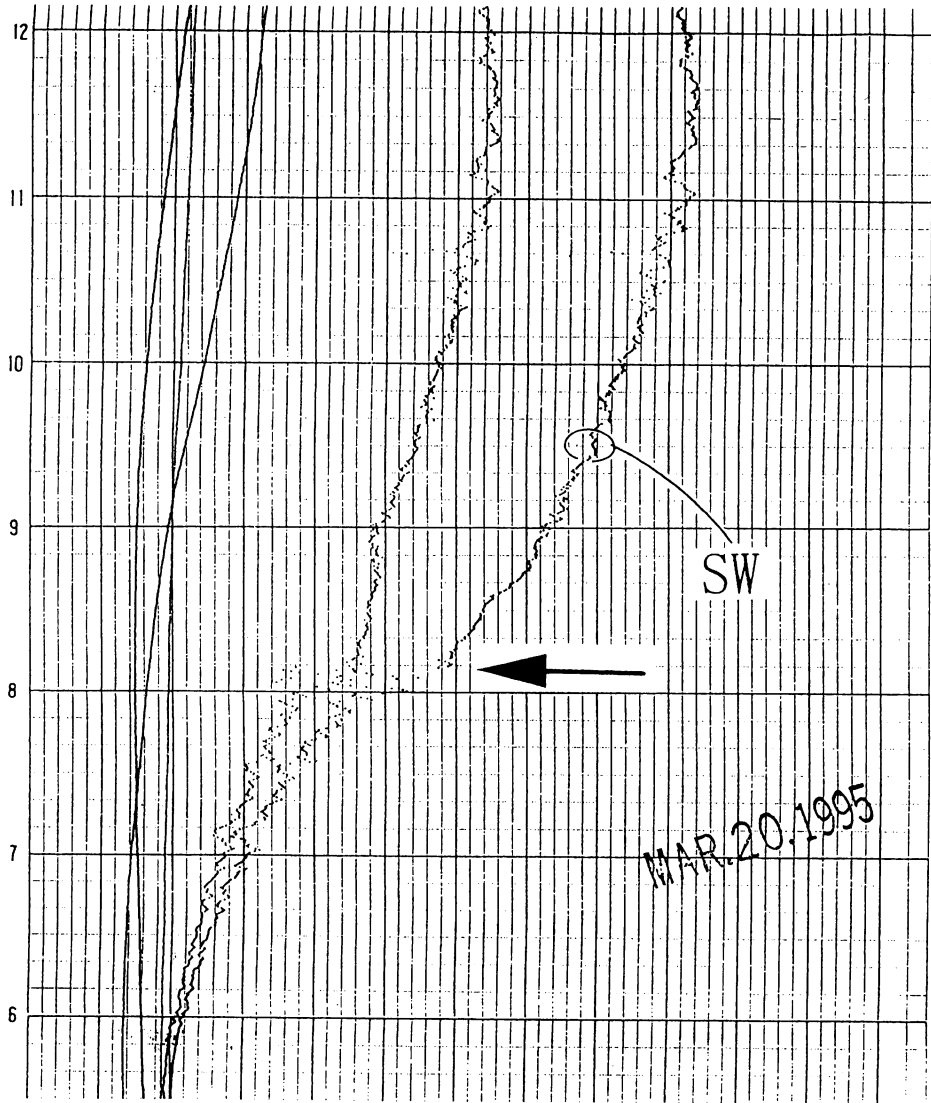
Hiyama *et al.* (1995) は、筑波研究学園都市周辺での全天日射量の観測から、当該地域では積雲系の雲や絹雲の影響がみられ空間的に一様とみなせないことを指摘している。この雲の影響を除くために水理実験センターで日照時間が11-12時の間に45分以上の日を抽出し、両観測点の南中時の時間積算値の比の月平均値を第7図に示す。第6図に比べて、サンプル数が少ないために変動は大きいですが、長期的な感度の低下や季節変化は第6図と同様にみられる。また、水理実験センターでの観測値が高層気象台に比べて大きい月(比が1以上)もある。

水理実験センターで採用している全天日射計とは別の型の受感部が黒色の受感部のみからなる全天日射計(精密全天日射計MS-801型、英弘精機製)の水平面での計測条件下で感度が、一年で約0.7%の低下したことが報告されている(財団法人日本品質保証機構, 1995)。また、英弘精機(1995, 私信)は、MS-43F型全天日射計の受感部の白面の劣化が大きく、感度定数の劣化は年2%程度と報告している。

4. まとめ

水理実験センター熱収支水収支観測圃場に設置された全天日射計の感度低下と経年変化に関して検討をおこなった。その結果、以下のことが明らかになった。

1.) 1995年3月に実施した、旧ルーチンおよび新ルーチン全天日射計の比較観測の結果、旧ルーチン全天日射計は約8%の感度の差が認められた。このうち約3%が旧ルーチンの感度の低下によるもので、約5%は新旧ルーチンの器差によるものと考えられる。また、旧ルーチン使用期間中の劣化は年0.5%



第5図 1995年3月20日午前中の全天日射量の時系列。図中の矢印は太陽がアカマツ林の影から出た時刻を示す。

程度である。

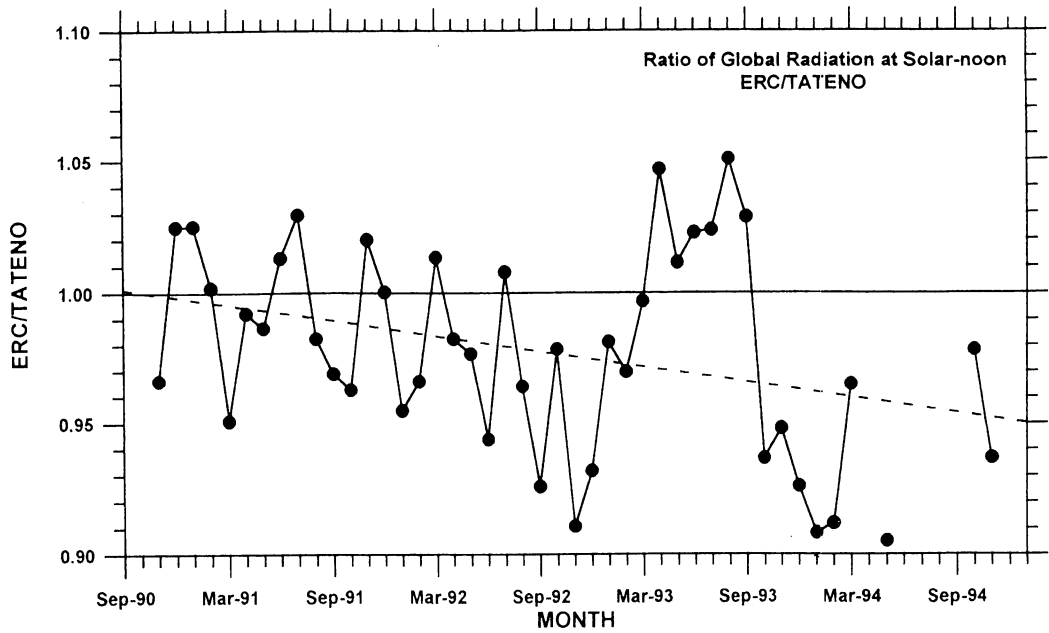
2.) 水理実験センターと高層気象台で観測された全天日射量を比較した結果、水理実験センターの観測値に約2%～9%の季節変化を伴う長期的な感度の低下が認められた。

本報では、最近の約6年間の水理実験センターの全天日射計の感度の低下について検討したが、それ以前についても同様の感度低下はみられる可能性があり、全天日射量のデータを用いて解析をおこなう

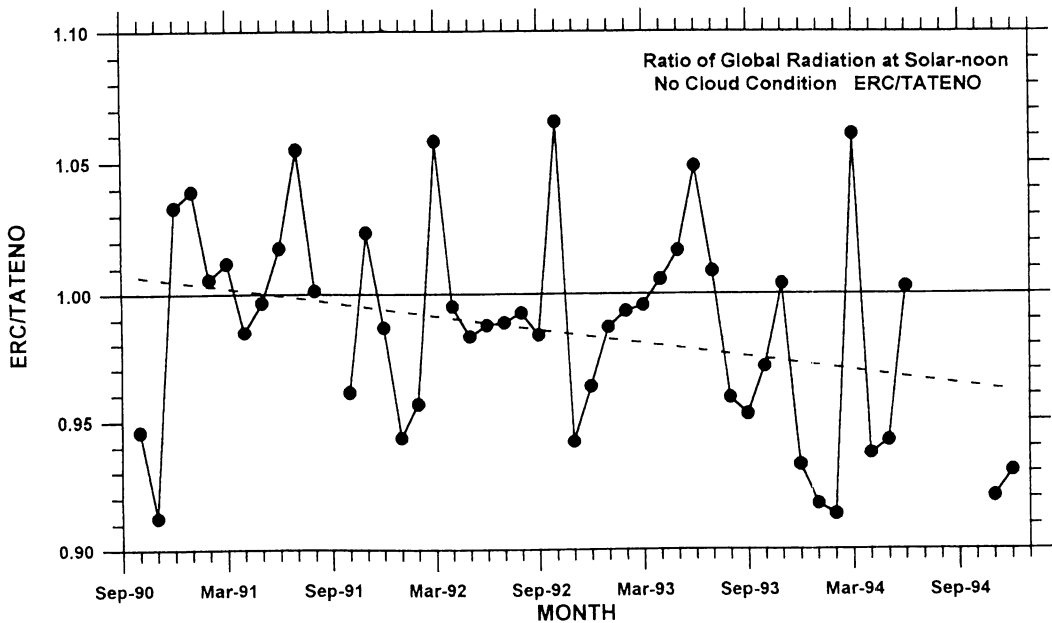
際にはセンサーの感度低下を考慮する必要がある。

全天日射計の感度低下は季節変化を含んでいるので、全天日射量を補正する際に解析期間中に一律な補正係数を適用することは望ましくない。高層気象台の同月の積雲系の雲が存在しない（日照時間が大きい）晴天日または完全に曇天の日の南中時刻付近の時間積算値を用いて、水理実験センターの全天日射量データの補正を行うとよいだろう。

また全天日射量をより正確に測定するには、全天



第6図 南中時の時間積算値の水利実験センターと高層気象台の比の月平均値。
破線は解析期間中の比の傾向線を示す。



第7図 第6図と同じ、但し1時間の日照時間が45分以上の場合の月平均値。

日射計を太陽高度角の低い時間帯にアカマツ林の影響を受ける圃場からアカマツ林の影響を受けない水理実験センター建屋の屋上に移設することが必要である。

文 献

上野丈夫・志村英洋（1988）：直達・天空散乱日射量から求めた全天日射量について。高層気象台彙報，48，37-42.

財団法人日本品質保証機構（1995）：太陽光発電システム実用化技術開発「太陽光発電システム評価技術の研究開発」。平成6年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書。241-245.

Hiyama, T., Sugita, M., and Kayane, I. (1995): Variability of surface fluxes within a complex area observed during TABLE 92. *Agric. Forest Meteorol.*, 73, 189-207