

水理実験センター熱収支・水収支観測圃場における 地中熱流量

Soil Heat Flux at the Heat Balance and
Water Balance Experiment Field of the
Environmental Research Center

檜山 哲哉¹⁾・生川 智彦²⁾・田 少奮³⁾・杉田 倫明⁴⁾

Tetsuya HIYAMA¹⁾, Tomohiko IKUKAWA²⁾,
Shao-Fen TIAN³⁾ and Michiaki SUGITA⁴⁾

I はじめに

地中熱流量は地表面熱収支における重要な1成分であるが、その測定法や測定する場所による誤差、あるいは算定方法による誤差が大きく、従来からその評価方法に対する研究が盛んに行われてきた。現在水理実験センターで得られている地中熱流量は、地表面下約2cmに熱流板を埋設し、熱流板の片側の面ともう片側の面の温度差の測定値からフラックスを算定する方法によりルーチ的に測定されている。

檜山ほか(1993)は、1981年から1992年までの12年間のうち、8月における圃場での地表面熱収支成分を評価した。その結果、地中熱流量の1時間平均値(フロッピーディスク(FD)とプリントアウトの双方)と、チャート紙による生データが年によってオーダー的に大きく異なることがわかった。本報ではその概要を述べ、過去の熱流量データを利用する際の補正方法について述べる。

II データ

水理実験センターの熱収支・水収支観測システムは、データの集録方法について、設立当初から現在までに3回の変更があった。設立当初のシステム(古藤田ほか, 1978)はオフライン方式であったが、1983年から、気象日報作成装置と称したオンライン方式のシステムに移行した。初代の気象日報作成装置については古藤田ほか(1983)に、現行の2代目の装置については鳥谷ほか(1989)にそれぞれ概要が記述されている。

初代の気象日報作成装置(古藤田ほか, 1983)の場合、観測値(アナログ信号)はCPU機能を備え付けたPCを介し、デジタル化し演算処理された上で1時間毎の平均値、積算値、あるいは1日ごとの平均値、積算値、日最大値、日最小値としてプリンターに出力され、同時にカセット磁気テープ(CMT)に記録されていた。また一方で観測値は、CPUを介さずに、各測定項目ごとに別個のアンプを介してある単位に変換された後、打点記録計に記録された。

1) 筑波大学大学院・地球科学研究科

2) 筑波大学第一学群自然学類

3) 筑波大学水理実験センター

4) 筑波大学地球科学系・水理実験センター

地中熱流量の生データは±1 Vのアナログ信号が、放射量の単位である ly/hr に変換されて打点記録されたものである。現行の気象日報作成装置（鳥谷ほか、1989）では、それぞれの観測値（アナログ信号）がそれぞれのアンプを介し、先ず単位変換された後、打点記録計と CPU を備えた PC にそれぞれ送信されている。PC からのデータ処理は初代の日報作成装置とはほぼ同じであるが、1 時間平均値等の統計値は CMT ではなく、フロッピーディスク（FD）に記録されている。

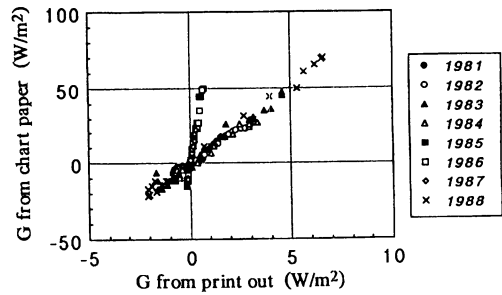
檜山ほか（1993）が地中熱流量を評価した際に用いたデータは、このうち打点記録計による生データであった。この理由は、地中熱流量の 1 時間平均値（FD とプリントアウトの双方）と、チャート紙による生データが年によってオーダー的に大きく異なっていたためである。その差異は特に、初代の気象日報作成装置（古藤田ほか、1983）で集録されたデータに見られ、現行の気象日報作成装置（鳥谷ほか、1989）に移行してからは全く見られなかった。

檜山ほか（1993）で解析した日時は、1981年から1992年までの12年間のうち、毎年8月の晴天日で、降雨直後と3日間以上の無降雨期間継続後の2日について行なっている。本報では先ず、そのうちの1981年から1988年までの無降雨期間継続後の解析日（檜山ほか、1993の第1表）と同じ日の解析結果を示す。さらにその結果に基づき、全期間のデータの詳細なチェックを行ない、FD とプリントアウトのデータを利用する場合に必要な補正係数（倍率）を求めた。

なお、打点記録計による生データから1時間平均値を求める場合には、正時から正時の間の打点記録から、1時間の平均値を計算し、ly/hr を別の放射量の単位である W/m^2 に変換した。その変換倍率は×11.63である。

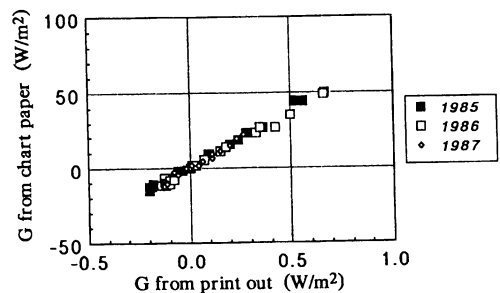
III 結果

初代の気象日報作成装置（1981年8月～1988年10月）で得られた地中熱流量について、チャート紙による生データと、プリントアウトによる1時間平均値を比較したものが第1図である。この図から、全



第1図 1981年から1988年までの解析日におけるプリントアウトとチャート紙の地中熱流量の比較

8年間において、チャート紙による値とプリントアウトによる平均値とは明らかに異なっていることがわかる。ただし各年において両者は線形（1次関数）の関係になっており、データを処理する際の倍率設定が、日報作成時に誤っていたことが予想される。1985年、1986年と1987年以外の年では、チャート紙とプリントアウトの出力値の比は、約10：1となっている。1985年、1986年と1987年の3年間では、チャート紙とプリントアウトの値の比はこれ以上に大きい。第2図にこの3年間における両者の関係を詳しく図示した。この図から、両者の比は約80：1となっている。これらのことから、倍率変更が何らかの原因によって度々行われ、生データと1時間平均値とが異なった値になってしまったものと思われる。



第2図 1985年、1986年、1987年の解析日におけるプリントアウトとチャート紙の地中熱流量の比較

IV 地中熱流量データの利用にあたっての補正

気象日報を作成する際の倍率や演算パラメータ（ある原始データ X に対する物理量 Y を、 $Y=aX+b$ という一次式で変換する際のパラメータ a と b ）等の設定は、機器の保守・点検とともに不定期に行われるため、いつ、このような倍率やパラメータ設定に変更があったかを詳しく調べる必要がある。チャート紙による打点記録は、アンプの倍率設定に変更が無い限り、地中熱流量等の観測値を正確に記録している。さらに、第1図や第2図等のチャート紙による地中熱流量をみる限り、牧草地での地中熱流量として妥当な値を示していると言える。そこで、1981年8月から1988年10月までの全期間について、チャート紙による生データを真の値として、その値とプリントアウトの1時間平均値がどのような関係にあるかを調べた。ただし、全期間の毎日についてこの調査をするのは多くの時間と労力を要するため、フラックスの値が大きくなるような晴天日を毎月2日間選び、両者の関係を調べた。倍率に変更されていると考えられる時期にはさらに、詳細にその月の毎日について調査を行なった。その結果は以下の通りである。

まず、初代の気象日報作成装置によりデータ集録が開始された1981年10月31日0時から1985年3月16日10時まで、及び1988年6月20日12時から1988年9

月28日8時までは、1時間平均値はチャート紙の1/10の値として出力されている。演算処理に起因するデータの異常を考慮すれば、1/10になっていることは不可思議ではない。よって、日報のプリントアウト、またはFDのデータを利用してこの期間の地中熱流量の真の1時間平均値を得るためには、プリントアウトのデータを10倍にすればよいと言える。

1985年3月18日17時から1988年4月1日8時まで、及び1988年9月28日19時から1988年11月6日10時までについては、プリントアウトのデータは、チャート紙から計算した真値に対してかなり半端な倍率で求められた。しかも、各時間によりかなりバラツキの多い倍率として求められた。そこで、この期間については、チャート紙による計算値のうち、 2.0ly/hr ($=23.3\text{W/m}^2$) 以上のものを約60時間分選択し、両者の関係を平均し、それを倍率とした。このようにした理由は、値の小さいデータで比較する際の、読み取りの誤差を回避したかったためである。この計算の結果、チャート紙からの値は、プリントアウトによる値の74.4倍であることがわかった。第2図から概算すると、プリントアウトの値を80倍すれば真値になると思われたが、実際には74.4倍という半端な倍率になっている。この原因は、日報の点検・欠測内容を記したノートを参考にした結果、旧日報装置の演算パラメータ（地中熱流量に関

第1表 1981年10月31日から現在までの地中熱流量の1時間平均値（プリントアウトとFDの双方）の補正係数

期 間	倍率	備 考
1981年 10月 31日 0時 ~ 1985年 3月 16日 10時	10	1985年 3月16日10時より メンテナンスのため欠測
1985年 3月 18日 17時 ~ 1988年 4月 1日 8時	74.4	1988年 4月 1日 8時より 観測機材変更のため欠測
1988年 6月 20日 12時 ~ 1988年 9月 28日 8時	10	1988年 9月28日 8時より 停電のため欠測
1988年 9月 28日 19時 ~ 1988年 11月 6日 10時	74.4	1988年11月 6日10時より 新気象日報作成装置への変更のため欠測
1988年 11月 8日 1時 ~ 現在	1.0	

第2表 1981年10月31日から現在までの地中熱流量データ（プリントアウトとFDによる1時間平均値、及びチャート紙による打点記録）の補正係数

期 間	倍率	備 考
1988年 6月 20日 12時 ~ 1988年 12月 13日 12時	1.5	アンプの倍率変更のため

第3表 1981年8月24日から現在までの地中熱流量に関する欠測とその期間、内容

欠測期間			欠測項目			備考
始	～	至	チャート	プリントアウト	FD	
1981年 8月24日 0時	～	10月30日 24時	×	×		熱流計の異常等
12月10日 7時	～	1982年 3月20日 24時	×	×		チャートに空白期間
1982年 3月21日 12時	～		×	×		チャート、プリントアウト共に空白
3月22日 5時	～	6月18日 19時	×	×		熱流板埋設後に回復
9月4日 10時	～		○	×		チャートとプリントアウトの値が不一致
9月23日 9時	～	17時	×	×		
10月29日 17時	～	19時	×	×		チャート上に値の乱れ
10月30日 18時	～	19時	×	×		チャート上に値の乱れ
1983年 7月1日 10時	～	10時	○	×	×	プリントアウトに空白
7月28日 10時	～	10時	×	×		異常な値
9月17日 0時	～	10時	×	×		チャートに空白期間あり
12月7日 15時	～	12月13日 12時	×	×		チャートに値の乱れ
1984年 3月22日 12時	～	13時	×	×		停電
9月19日 9時	～	17時	×	×		停電
11月17日 1時	～	8時	○	×	×	日報プリンター異常、プリントアウトが空白
1985年 1月2日 11時	～	1月3日 0時	○	×	○	プリントアウトが空白
1月3日 7時	～	15時	×	×		日報プリンター紙詰まり
3月9日 13時	～		×	×		停電
3月16日 11時	～	3月18日 17時	×	×		メンテナンス
9月22日 9時	～	19時	×	×		停電
9月23日 9時	～	19時	×	×		停電
1986年 3月23日 16時	～	15時	×	×		メンテナンス
3月29日 10時	～	15時	×	×		メンテナンス
8月28日 15時	～	17時	×	×		メンテナンス
10月1日 9時	～	17時	×	×		停電
11月21日 11時	～	14時	×	×		停電
12月10日 13時	～	17時	×	×		停電
1987年 3月4日 11時	～	12時	×	×		メンテナンス
3月24日 14時	～	15時	×	×		停電
9月10日 12時	～	13時	×	×		停電
9月10日 13時	～	14時	×	×		数分間の停電有り
9月10日 14時	～	14時	×	×		数分間の停電有り
9月30日 9時	～	17時	×	×		チャート上に異常な変化
12月11日 1時	～	9時	○	×	○	停電
1988年 4月1日 9時	～	6月20日 11時	×	×		プリントアウトが空白
9月28日 9時	～	18時	×	×		圃場工事等
9月30日 11時	～	13時	○	×	○	停電
10月1日 13時	～	14時	○	×	○	プリントアウトが空白
10月2日 9時	～	10月3日 11時	×	×		不明
10月4日 1時	～	9時	○	×	○	停電
11月6日 11時	～	11月8日 0時	○	×	○	プリントアウト欠測、FDにデータ有り
11月15日 1時	～	10時	○	×	○	プリントアウト欠測、FDにデータ有り
11月26日 13時	～	11月28日 0時	○	×	×	日報プログラム修正の為
1989年 3月31日 14時	～	4月4日 11時	○	×	○	FDでは11/26/01～11/26/24、11/29/01～11/29/14まで欠測。
5月3日 17時	～	5月4日 9時	○	×	○	プリントアウト欠測、FDにデータ有り
7月13日 11時	～	12時	×	×		プリントアウト欠測、FDにデータ有り
7月13日 13時	～	15時	×	×		チャート上に空白期間あり、定期点検
7月14日 19時	～	20時	×	×		チャート上に空白期間あり、定期点検
9月23日 9時	～	9月25日 14時	×	×		停電
9月28日 8時	～	17時	×	×		停電
11月7日 11時	～	11月10日 9時	×	×		停電
11月15日 13時	～		○	×	○	日報プリンターストップ
1990年 1月21日 11時	～	1月22日 10時	○	×	×	プリントアウトが異常な値
1月27日 11時	～	1月29日 13時	○	×	×	日報装置異常の為、FDでは01/21/01～01/22/10まで欠測。
3月1日 14時	～		×	×		FDでは01/29/01～01/29/14まで欠測。
3月1日 16時	～		×	×		メンテナンス
3月1日 19時	～	20時	×	×		メンテナンス
3月2日 16時	～	18時	×	×		メンテナンス
3月5日 14時	～	19時	×	×		メンテナンス
6月22日 10時	～	13時	○	×	○	プリントアウトが空白
7月3日 10時	～	18時	×	×		メンテナンス
7月4日 11時	～	11時	×	×		メンテナンス
1991年 6月24日 23時	～		×	×		熱流板移設
6月28日 18時	～	19時	×	×		不明
7月12日 19時	～	20時	×	×		異常な変化、降雨のため
8月6日 16時	～	18時	×	×		異常な変化、降雨のため
8月7日 12時	～		×	×		メンテナンス
8月7日 15時	～	17時	×	×		メンテナンス
8月8日 17時	～	19時	×	×		メンテナンス
8月21日 12時	～		×	×		メンテナンス
9月2日 9時	～		×	×		チャート上に空白期間あり
9月6日 13時	～	16時	×	×		プリントアウトが空白
9月8日 10時	～	12時	×	×		異常な変化、降雨のため
9月9日 1時	～	10時	○	×	○	プリントアウトが空白
9月22日 8時	～	9月24日 14時	×	×		停電
9月26日 8時	～	18時	×	×		停電
1992年 2月1日 4時	～	2月3日 13時	×	×		降雪による停電
4月30日 10時	～	11時	×	×		チャート上に値の乱れ
5月25日 16時	～	17時	×	×		異常な変化、降雨のため
5月30日 0時	～	6月8日 0時	×	×		フロッピーディスク不良の為
6月8日 14時	～	15時	×	×		プリントアウトが空白
7月9日 11時	～	13時	×	×		不明
7月23日 9時	～	10時	×	×		FDは07/23/01～07/23/11まで欠測。
8月17日 9時	～	10時	×	×		プリントアウトが空白
8月17日 12時	～	13時	×	×		プリントアウトが空白
9月1日 0時	～	9月30日 2時	○	×	○	ファイルが無い
10月1日 0時	～	9時	×	×		FDは10/01/01～10/01/09まで欠測。
11月28日 9時	～	11月30日 9時	×	×		FDは11/30/01～11/30/10まで欠測。
1993年 1月1日 1時	～	1月7日 24時	×	×		プリントアウトが空白
1月21日 19時	～	1月31日 24時	×	×		FDは01/21/01～01/31/24まで欠測。
2月1日 0時	～	9時	×	×		プリントアウトが異常な値
2月17日 15時	～	17時	×	×		メンテナンス
6月21日 14時	～	16時	×	×		異常な変化
6月28日 17時	～	19時	×	×		異常な値
8月27日 15時	～	16時	×	×		停電
9月27日 10時	～	16時	×	×		プログラム修正
1994年 1月10日 11時	～	1月14日 16時	○	×		修理のため

しては a についてのみ)の入力値が異なっていたためであることが判明した。

さて、これらの倍率と期間とをまとめたものが第1表である。第1表には、補正計算が容易に行えるように、演算倍率とその期間を載せた。日報データのプリントアウト、およびFDの地中熱流量データにこの倍率をかけることで、真の値が得られる。また、第1表には倍率変更時の日報装置の保守・点検内容を備考として付記した。

さて、この調査を実施する上で日報の点検・欠測内容を記したノートを参考にしていたところ、1988年6月20日12時から1988年12月13日12時の期間の地中熱流量は、チャート紙による生データとプリントアウト、FDの1時間平均値ともに、「1.5倍にしなれば真値ではない」という内容の記録が書かれてあった。これは、センサーから打点記録計とCPUへの電気回路の途中に接続してあるアンプ(増幅器)の倍率が変更されていたためである。よってこの期間については、チャート紙による地中熱流量生データ、プリントアウトやFDによる1時間平均値ともに、1.5倍の補正計算が必要である。すなわち、この期間の地中熱流量データをプリントアウトやFDによる1時間平均値として利用する場合には、第1表による倍率補正計算を行ない、さらに第2表による倍率補正計算も必要になってくる。

本報告をまとめるにあたり、日報の点検・欠測内容を記したノートを基に、地中熱流量に関する欠測とその期間、原因、内容に関して整理し、第3表にまとめておいた。表中、×印は欠測を示し、○印は欠測ではないことを示している。過去の地中熱流量データを利用する際に参考にして頂きたい。

V まとめ

本報では、水理実験センターの水収支・熱収支観測圃場における地中熱流量の過去のデータの欠陥を

指摘し、その解決策を提示した。今後、初代の気象日報作成装置(古藤田ほか、1983)が稼動していた期間(1981年8月~1988年10月)に集録された1時間平均値(FDとプリントアウト)を利用する際には、本報の第1表と第2表を参考にし、データを補正されることを望む。また、これまでに公表されている熱収支・水収支観測資料(鳥谷ほか、1988、川村ほか、1989)の地中熱流量データには、本報で得られた倍率による補正は加えられていない。これらの資料を利用するにあたっては、同じように補正する必要があることを付記しておく。

文 献

- 川村隆一・谷口真人・鳥谷均・嶋田純(1989):熱収支・水収支観測資料—1988年—。筑波大学水理実験センター報告, No. 13, 159-176.
- 古藤田一雄・佐倉保夫・林陽生・甲斐憲次(1978):水理実験センターにおける熱収支・水収支観測システムとデータ集録・処理について。筑波大学水理実験センター報告, No. 2, 65-89.
- 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, No. 7, 75-85.
- 鳥谷均・川村隆一・古藤田一雄・嶋田純(1988):熱収支・水収支観測資料(2)—熱収支編—1981年7月~1987年12月。筑波大学水理実験センター報告, No. 12(別冊), 73p.
- 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, No. 13, 147-158.
- 檜山哲哉・杉田倫明・三上正男(1993):ウエイングライシメータ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, No. 18, 41-53.