

直達日射量の測定とその情報処理

—— 教材化へ向けて ——

谷 本 盛 光

(理科教育研究室)

寺 岡 真由美

(富士通株式会社)

(平成4年10月12日受理)

1. はじめに

理科の学習において、エネルギー概念は基本概念の一つとして重要視されている。それは、エネルギー概念が自然科学の中で中心的地位を占めることと、私たちの生活自体がエネルギーと切り離して成立しないことによるものと考えられる。中学校の改訂学習要領(平成元年)でも(6)エ「(ア)日常生活では、科学技術の成果として様々な素材やエネルギーが利用されている。」と新内容として採り入れられている。⁽¹⁾一方、私たちを取り巻くエネルギーの問題は地球環境の問題でもある。この観点から太陽エネルギーの再生可能な側面(再生エネルギー)に注目が集まっている。それは太陽エネルギーを起源としながらも再生不可能な石油・石炭などの非再生エネルギーに比べ、クリーンでかつ無尽蔵な故である。⁽²⁾

現在の小学校・中学校・高等学校の学習内容では、太陽電池などを用いて太陽エネルギーを扱っている。⁽¹⁾これらの学習内容をさらに深め発展させるため、この研究では太陽からくる直接のエネルギーの測定が、太陽エネルギーの強さを熱として実感できる方法であり、また付随的に大気汚染の状態を知る方法であることを定量的に明らかにする。そのうえで、これまで学校教育で扱われたことのある日射量の簡易測定がどの程度の精度をもった定量的測定であるかを示す。この研究では、直達日射量を以下の点に留意しながら測定した。バックグラウンドの影響(周囲の環境からの輻射の効果)を見るためには同じ測定時間帯で場所をかえて行なった。さらに、空気の汚染の影響をみるため石鎚山の標高1500m付近で測定を行なった。また、日常生活におけるように透明ガラスをとおした太陽エネルギーはどの程度減退しているかを測定した。これらの測定値は、即座にコンピュータで情報処理され、ディスプレイ上にグラフとして表示され、視覚的にこれまでのデータと比較出来るようにした。以下の章でその測定方法及び結果を述べる。

2. 直達日射量の測定方法

測定装置は五藤式直達日射計を用いた。この装置は太陽から直接入射したエネルギーを直径30mmの銅盤で感知し、その温度上昇で単位面積に対する1分あたりの入射エネルギーを測定す

るものである。その装置には銅盤が太陽に垂直となるよう方向を定め、さらに太陽の日周運動にあわせて方向を調整できる赤道儀と赤経微動装置が付随している。また、上昇温度の測定には0.1度刻みの水銀温度計を用いる。直達日射量を測定する場合、反射光を防ぐために周りに直射光を遮るものが無い場所を選ぶ。また周囲の環境からの輻射熱の影響を防ぐため観測30分前より装置を設置し、熱平衡状態にしておく。観測予定時刻の数分前になると赤経・赤緯のクランプをゆるめ、筒先を太陽の方向に向け、ファインダーの+の交点に太陽光線が結ぶようにして再びクランプを固定する。太陽の日周運動に対しては微動ハンドルで修正する。観測時間は10分間で、20秒、100秒、20秒、100秒という繰り返して、シャッターを4回開閉する。従ってこの間10回の温度を読み取り記録する。この間における銅盤の上昇温度の測定値を情報処理することにより直達日射量 [$\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$] を計算する。この計算はあらかじめ組まれたコンピュータプログラムによって実行される。コンピュータはマッキントッシュ II Ci を用い、表計算ソフト「エクセル」とグラフ機能をもつ「クリケットグラフ」を組み合わせでプログラムした。

測定は全天に雲の無い日を選び、正午をはさんだ10分間に行なった。測定場所は愛媛大学教育学部2号館の屋上で、測定は1991年7月23日から1992年2月10日までの快晴の日19回である。また、これらの測定以外に場所を変えた測定と透明ガラスによる太陽光遮断の測定も行なった。

3. 直達日射量の測定結果

A. 測定値の月変化

快晴の日数は月によって大きく異なるが、直達日射量を測定できた日は7月1日、8月は3

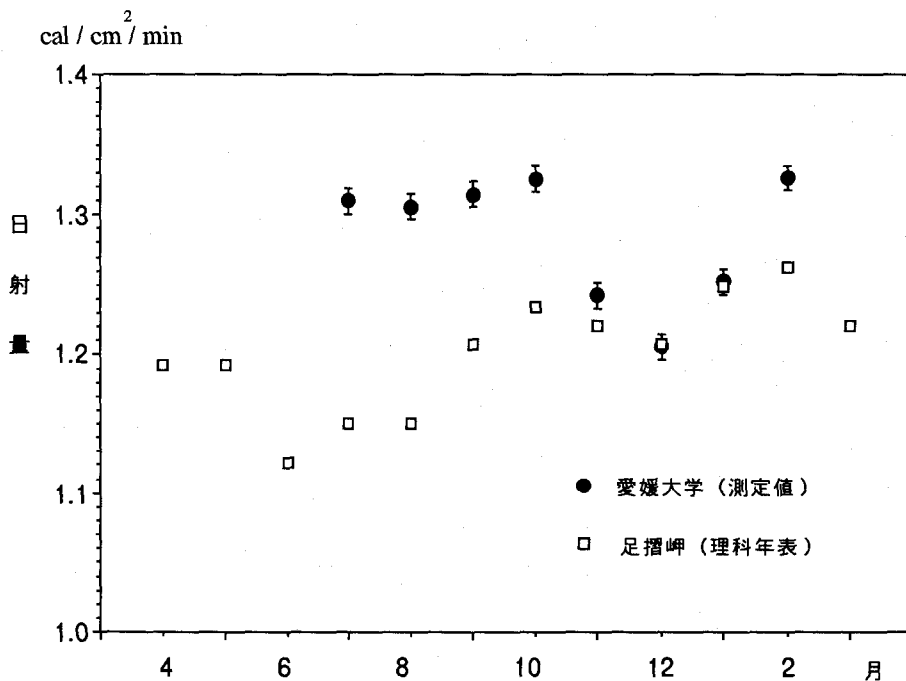


図1 月平均の直達日射量の測定値(愛媛大学)と文献値(足摺岬)との比較

日、9月は2日、10月は7日、11月は2日、12月は1日、1月は1日、2月は2日の合計19日である。測定した直達日射量の月平均を取ったグラフを図1に示す。気象台は四国では足摺岬において直達日射量の測定を行っているが、愛媛県では輻射光まで含めた全日射量の測定のみを行っており、この研究の測定値と直接比較できるデータはない。参考のため、1961年から1990年までの足摺岬での測定平均値（文献値）⁽³⁾を図1にあわせて示した。測定値は足摺岬の文献値よりも少し大きめであるが、この程度の違いは30年間の平均である文献値の揺らぎの範囲と考えられる。8月、9月、10月の測定値が比較的他の月より大きくなっているのは、台風あとの澄み切った日に測定が行われたことがあることによるものと考えられる。例えば、10月15日は台風の通過した翌日であったが1.54 [cal/cm²·min] というきわめて高い測定値が得られており、当日の強い日差しの実感と一致する。

B. 測定値の場所による変動

直達日射量の測定値が周りの環境にどの程度依存するかを見るため12月4日と12月7日の両日、4ヵ所で測定を行った。測定装置は一台なので11時から13時まで場所をかえながら測定を実施した。この結果を表1に示した。愛媛大学教育学部2号館屋上から測定開始し、石手川中流の川原、重信川中流の川原、奥道後の山中と移動し再び愛媛大学教育学部2号館屋上に帰ってきた。この間2時間経過しているので表1に示したように測定値に時間変動がみられる。場所による直達日射量の変動は時間変動の範囲以内と結論することができる。

表1 12月4日、7日の各場所における南中時刻の直達日射量
～愛媛大学（教育学部屋上）・石手川・重信川・奥道後～

	12/4	12/7	平均
石手川	0.8990	0.9848	0.9419
重信川	0.9224		0.9224
奥道後	0.9224	1.0433	0.9829
愛媛 11:00	1.0549	0.9146	
大学 12:00	1.0267	0.9687	0.9977
12:45		0.9516	
13:00	0.8834		cal/cm ² ·min 単位

C. 石鎚山における測定

松山市における空気の汚染度を調べるため、11月3日石鎚山土小屋付近（標高約1500m）で直達日射量を測定した。測定は11時より14時まで30分おきに行った。その結果は図2に示し、あわせて愛媛大学教育学部2号館屋上の測定値（11月6日）も比較のために示した。石鎚山の測定では13時に直達日射量が1.53 [cal/cm²·min] という高い値を示している。この値はAに示した台風の通過した翌日（10月15日）の測定値は1.54 [cal/cm²·min] とほぼ同じものである。このことから松山市と石鎚山の直達日射量の違いは高度差に原因があるのではなく、空気の汚染に原因があると結論できる。実際、大気圏の距離に比べ1500m程度の大気行路差は無視できるほど小さい。大気の透過率Xは $I = I_0 X^m$ の関係式から得られる。ここで I_0 および I は大気外および地表面の日射量を表わし、 m は日射が通過する空気量（大気路差）を表す。こ

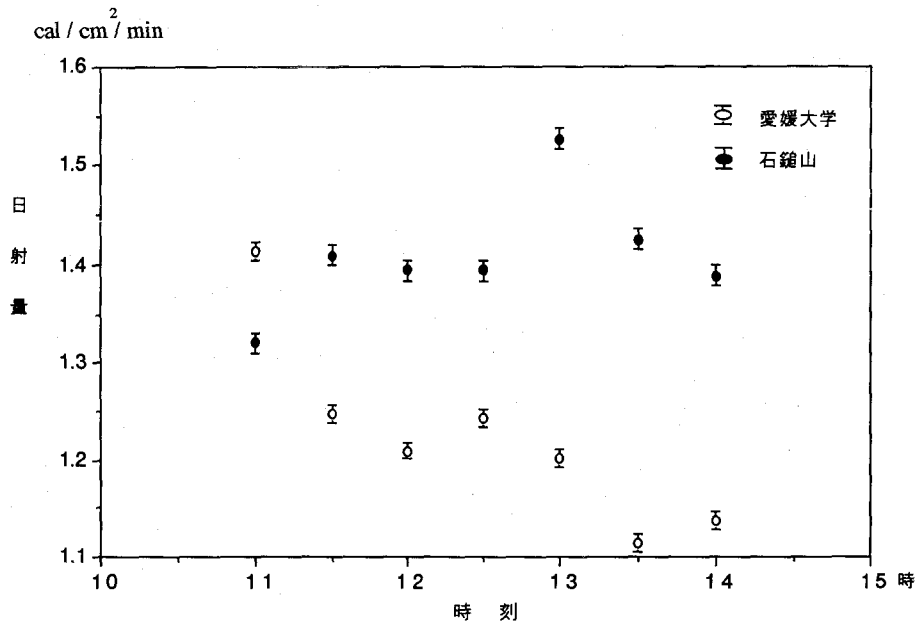


図2 石鎚山と愛媛大学における直達日射量の測定値 (11時から14時まで)

の公式を用いると石鎚山での透過率 (11月3日) は78.0%, 松山市の透過率 (11月6日) は70.6%である。

D. 透明ガラスで日射を遮断した場合の測定

日常生活では透明ガラス越しに太陽光を受ける場合が多い。ここでは、透明ガラスがどの程度直達日射を減退させるかを見るために定量的測定を行った。用いた透明ガラスは厚さ1.65mmで1枚から4枚まで重ねた。表2において、ガラス1枚で遮断した場合の直達日射量と遮断しない場合の値とを比較して示した。測定時間は正午付近である。表2でわかるように日によって減退の大きさは異なるが、72%から85%の減退の範囲におさまっている。表3に10月22日における遮断するガラスの枚数と直達日射量の関係を示した。この測定には1時間程度の時間変化が加わるので、必ずしもガラスの枚数と直達日射量の関係が単純に求まるわけではない。そ

表2 ガラス1枚で遮断した場合の直達日射量の測定値 (cal/cm²·min 単位)

日 時	直達日射量 a	遮断時の日射量 b	b/a (%)
9 / 10	1.3026	0.9945	76.35
9 / 20	1.3903	1.0823	77.85
10 / 3	1.3143	1.1115	84.57
10 / 7	1.2578	1.0433	82.95
10 / 14	1.2071	0.8405	69.63
10 / 15	1.5366	1.1017	71.70
10 / 18	1.3728	1.1213	81.68

表3 遮断するガラスの枚数の増加と直達日射量の測定値
(cal/cm²·min 単位)

枚数	0	1	2	3	4
日射量	0.8171	0.7547	0.7235	0.6416	0.3920
誤差	0.117088	0.006798	0.006657	0.006303	0.005397

のため、ガラスの枚数を1枚から4枚までの間に繰り返しランダムに変化させることにより時間変化の影響を最小限におさえた。その結果、直達日射量はガラスの厚さにほぼ比例して減少することが判明した。例えば、6.6mmの厚さの透明ガラスはおおよそ直達日射を半分に減衰させる。

E. 学校教材—簡易日射計での測定との比較

これまで学校教育の場では日射光の測定は簡易日射計で行われることがあった。この日射計は銅容器に水を入れ水温の上昇から日射量を測定するようになっている。発砲スチロールで防熱しているが外界との熱のやりとりは無視出来ない。この研究では科学共栄社の簡易日射計を用い、直達日射計の測定値と比較を行った。図3では10月7日と10月15日の簡易日射計の水温の上昇の時間変化を示した。10月7日の直達日射量は1.26 [cal/cm²·min]であり、10月15日

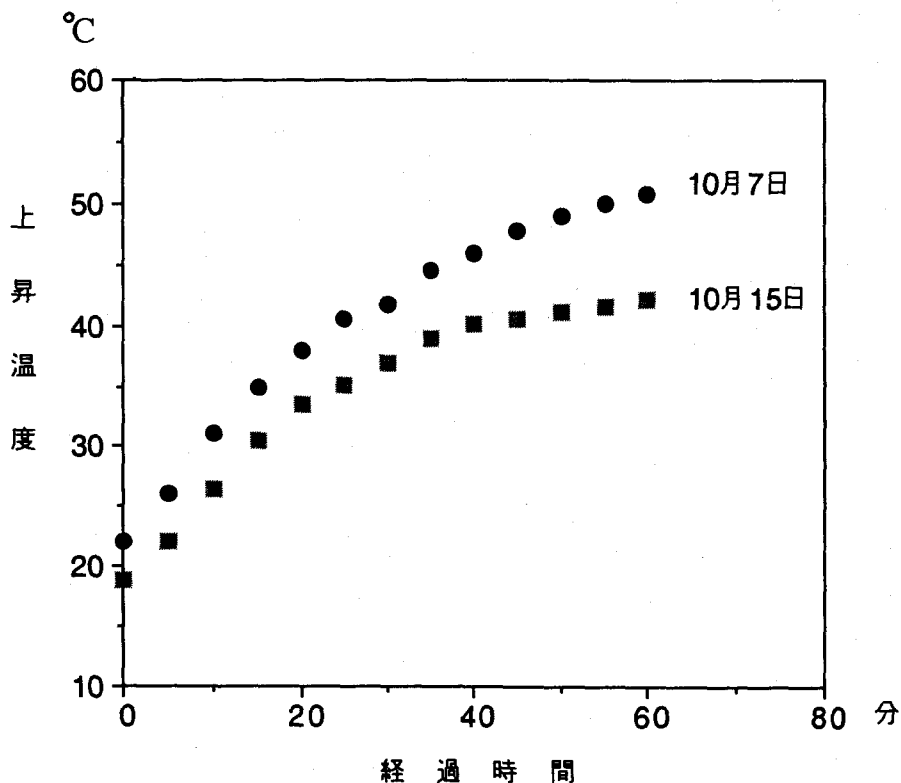


図3 10月7日、15日における簡易日射計の水温上昇の時間変化

では1.54 [cal/cm²·min]であるが、図3で示した温度上昇はこれらの測定値と逆転の関係にある。このことは簡易日射計の測定は気温、湿度、風速など気象条件に少なからず影響されることを示している。また図3より1時間経過すると外界と熱平衡状態に達することがわかる。この図に示されたはじめの10分間の温度上昇から求めた日射量は10月7日では0.70 [cal/cm²·min]であり10月15日では0.71 [cal/cm²·min]である。簡易日射計での10月における5回の測定の平均値は0.67 [cal/cm²·min]であった。一方、直達日射計での10月における測定値の平均は1.325 [cal/cm²·min]なので簡易日射計の効率は50.6%である。ちなみに、市販されている太陽熱温水器の効率はおおよそ40%である。このように、水を用いた簡易日射計での直達日射量の定量的測定はかなり無理があり今後工夫が必要となる。

4. お わ り に

この研究において、直達日射量の測定はかなりの高い精度で実現することができた。松山市における8ヵ月を通しての直達日射量の測定ははじめてであり、それ自体意義あることである。また石鎚山における測定値との比較もはじめてであり、これは貴重なデータといえる。直達日射の測定によって太陽エネルギーを熱として実感するために、透明ガラスのような遮断物を用いることが有用であったと思われる。さらに、水や水蒸気のような遮断物、汚染された気体の遮断物を用いた実験も今後必要であると考えられる。簡易日射計の精度の限界を定量的に明らかにしたが、日射量の定量的測定には工夫が必要となる。この研究の難点は一年を通しての活動であることと、快晴の日を選ばなければならないという人為的努力を超える点に有る。測定データの処理はコンピュータで手軽に行えるので情報処理教育の立場としてもこの測定を位置づけることが出来る。学校教育における自由研究の指導の一環としてこのような研究は重要な意味を持つと信じる。

謝 辞

本研究をすすめるにあたり、河淵計明先生および佐野栄先生には始終御助言いただいた。とりわけ佐野栄先生には情報処理の方法につき貴重な御助言をいただいた。深く御礼申しあげます。

引 用 文 献

- (1) 中学校指導書 理科編 (平成元年), 文部省
- (2) 押田勇雄 (1982年) 人間生活とエネルギー (岩波新書), 岩波書店
- (3) 東京天文台編纂 理科年表 (1991年), 丸善株式会社