

# 東北地方における月平均水平面日射量 分布図の作成\*

吉田 作松\*\* 中西 秀二\*\*\*

## 要 旨

まず、仙台における月平均の水平面日射量（エプリー日射計）と日照率（ジョルダンおよびバイメタル日照計）との関係が求められた。つぎに、東北地方における246地点の、5年平均の月別日照率が、すでに発表された方法（吉田, 1970b）を用いて、地形の影響のない日照率に補正された。これらを組み合わせると、各地の日射量が、5～10%の誤差で推定される。これまでに作成を終えた、東北地方の4, 6, 8, 10月の水平面日射量分布図から、いくつかの興味ある気候学的特徴が指摘された。おおまかにいえば、内陸平野部は、だいたいにおいて日射量が多く、沿岸部、および内陸でも海上からの気流の影響を受ける地方では、季節によって日射量の多寡が起こる。

## 1. ま え が き

気温、降水量、積雪量については、すでに、わが国のくわしい気候図が作成されている（たとえば、和達監修, 日本の気候, 1958. また、目下、気象庁ではもっとくわしい気候図を作成中である）。しかし、水平面日射量については、観測地点数が全国でわずか80弱（精度の高いエプリー日射計は7地点で、残りは精度の低いロビッチ日射計である）なので、実測にもとづいた、くわしい分布図を作成することができない。

東北地方で水平面日射量を観測しているのは、エプリー日射計による仙台と、ロビッチ日射計による10地点をあわせて、11地点にすぎない。一方、日照時間の観測地点の数は

バイメタル日照計のみ……………	226
ジョルダン日照計のみ……………	2
両方併置……………	18
合計……………	246

で、地点間の平均距離は16.6kmである。日照時間がこのように高い密度の観測網で観測されたのは、おそらく世界で稀であり、地形と天気分布が複雑であるわが国だ

からこそ、意義あることであろう。

日照時間から水平面日射量を推算する方法を導き、それを東北地方の全観測点の5年平均日照時間に適用して、くわしい月平均水平面日射量分布図を作成することを試みた。

## 2. 資 料

水平面日射量（エプリー日射計による）：仙台, 1967年6月～1969年6月。

日照時間（バイメタルおよびジョルダン日照計による）：東北地方246地点, 1963年4月～1968年3月。

仙台のエプリー日射計は、1967年5月以前の係数や記録器に疑問の点があるので、それ以後が用いられた。バイメタル日照計による日照時間の月別5年平均値を求める場合、オーバーホール（福島県と山形県に多い）または故障のため欠測した月の値を、欠測がなかった年における周辺観測所との比較から推定した。

なお、快晴日に日照計が記録することのできる限界の太陽高度は、仙台では、日出のとき、ジョルダン日照計が3°, バイメタル日照計が5°, 日没のとき、ジョルダン日照計が6°, バイメタル日照計が5°である（吉田, 1968a）。一方、日出・日没の方向の山の高度角は、仙台では常に2°以下である。したがって、仙台の日照時間は、全く地形の影響を受けていない。

## 3. 日照率と水平面日射量との関係

水平面日射量と日照率との関係については、昔から多くの研究があり、最近のものでは、Page (1961) が従来の研究をまとめており、関原・鈴木 (1967) が日本の観

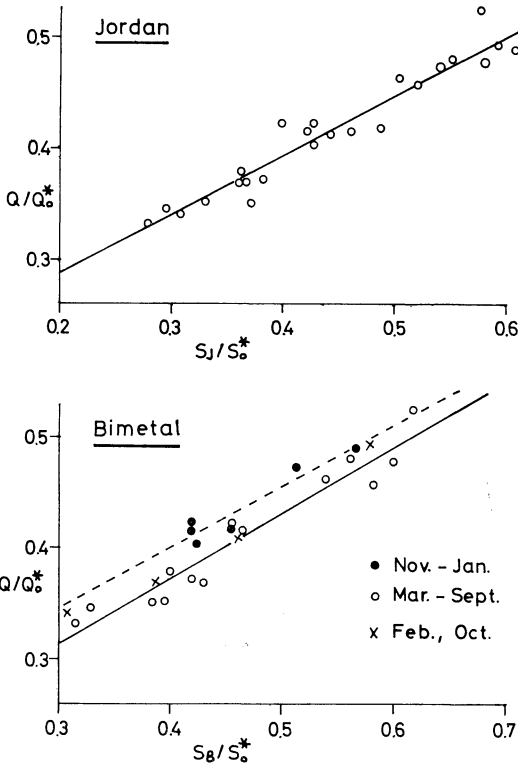
\* Preparing the Detailed Monthly Maps of the Mean Daily Sun and Sky Radiation on a Horizontal Surface in Tohoku District.

\*\* S. Yoshida 仙台管区気象台（現気象庁統計課）

\*\*\* S. Nakanishi 仙台管区気象台

—1967年11月18日受理—

—1970年1月12日改稿受理—



第1図 月平均の日照率と水平面日射量との関係、仙台。

測値について研究している。ここでは、それらにならって、つぎの式を用いる。

$$\frac{Q}{Q_0^*} = a + b \cdot \frac{S}{S_0^*} \quad (1)$$

Q : 水平面日射量の観測値, ly/day

Q<sub>0</sub>\* : 大気外水平面日射量, ly/day

S : 日照時間の観測値 (ジョルダン日照計のとき S<sub>J</sub>, バイメタル日照計のとき S<sub>B</sub> とする), hr/day

S<sub>0</sub>\* : 天文可照時間, hr/day

a, b : 係数

仙台について両者の関係を示したのが第1図で, a, bおよび相関係数 r の値は第1表のとおりである。ただし, この統計は, バイメタル日照計が不調であった1967年9月を除いて行なわれた。

ジョルダン日照計の場合には, 関原・鈴木 (1967) と同様に, a, bに季節的な変化は見られなかった。

しかし, バイメタル日照計は散乱光も受光し, 雲からの散乱光は太陽高度が高いほど強いので (吉田, 1968

第1表 日照率と水平面日射量との回帰統計

日照計	期間	a	b	r	資料数
ジョルダン	全年	0.180	0.534	0.96	24
	全年	0.147	0.583	0.95	24
バイメタル	11~1月	0.179	0.552	0.96	6
	3~9月	0.135	0.593	0.97	14
	全年	第2表の月別のa, bを使用		0.98	24

第2表 バイメタル日照計による日照率から水平面日射量を推定する場合のaとb

	1月	2月	3~9月	10月	11月	12月
a	0.179	0.160	0.135	0.150	0.173	0.184
b	0.552	0.569	0.593	0.579	0.558	0.547

b), 回帰式に季節変化が期待される。全年をいっしょにして統計するよりも, 第1図と第1表に見られるように, 季節別に統計する方が相関がよいのは, その考えが正しいことを示している。

11~1月の南中時の太陽高度の平均は31°で, 3~9月のそれは50°以上である。第1表のa, bを, 月別の平均太陽高度で案分した結果は第2表のとおりで, これら月別のa, bを用いて推算したQ/Q<sub>0</sub>\*と, 実測のQ/Q<sub>0</sub>\*との相関係数は, 第1表の最下欄に示すとおり, 0.98という大きい値である。

なお, Q<sub>0</sub>\* のかわりに Q<sub>0</sub> (快晴日に地上で観測される水平面日射量) を用いる方が合理的と思われたので, Kondo (1967) の式から Q<sub>0</sub> を求めて, (1) 式の計算を行なった結果, 相関係数は, Q<sub>0</sub>\*を用いた場合と同じくらいであった。さらに札幌の場合には, Q<sub>0</sub>を用いる方がむしろ相関がわるかったが (吉田, 1970 a), その理由はわからない。

以上の結果により, 次節でのべる水平面日射量の推定には, ジョルダン日照計の場合, 第1表のa, b, バイメタル日照計の場合, 第2表のa, bを用いる。また, Kondo (1967) によれば, 都市による大気混濁のため, 仙台のQは, 平均して, 館野の94%とみなされる。東北地方全体としての大気混濁を, 仙台並みと見るよりは都市の影響のない館野並みと見る方がよいと思われるので, 上の方法で推定したQに1/0.94を乗じて, 東北地方各地に適用する。

Bennett (1964) によれば, aとbは緯度と標高の関数

である。しかし、東北地方の緯度は、仙台を中心としてわずかに±2°の範囲にあり、また、仙台の標高が40mであるのに対して、各観測所の標高は、300m以下が204地点、300m以上（最高は942m）が42地点といった状況なので、緯度と標高の効果を考慮に入れなかった(Bennettがアメリカ西部の日射量の分布を推算したときには、緯度の幅は15°以上、標高は10mから2000mまでであり、過半数が1000m以上であった)。

4. 各観測所の水平面日射量の推定

前節の方法を用いて、各地の水平面日射量を推定するには、つぎの準備が必要である。

(1) 日照率におよぼす地形の影響を補正すること

東北地方における246の日照時間観測地点のうち、日出・日没時の太陽高度が10°以下が200地点、11~20°が38地点、21°以上が8地点である。観測された日照率を、地形の影響がない日照率に補正するには、吉田(1970b)の方法が用いられた。すでにのべたように、計算対象は1963年4月~1968年3月の5年平均の月別日照率である。

(2)  $Q_0^*$  (大気外水平面日射量) の値

日本ふきんの緯度1°ごとの日別・月別の  $Q_0^*$  (太陽常数として1.98ly/minを用いた) を、気象庁予報課の久保田効氏に電子計算機で計算していただいた。東北地

方を緯度30'の幅に区切り、その中心の  $Q_0^*$  を、各緯度帯内にある観測地点の  $Q_0^*$  とした。

実際の計算では、便宜のため、第2図に示すダイヤグラムを作成して用いた。

5. 推算された水平面日射量の精度

(1) 実際の可照時間の測定の誤差

日照率におよぼす地形の影響を補正するには、日出・日没の方角にある地形の高度角と、日出・日没の時刻が必要である(吉田, 1970b)。東北地方の全観測点について、すでにこの測定が完了しているが、この過程で入る誤差は、高度角で1~2°, したがって日照率で2~3%である。

(2) 日照率補正の誤差

補正図(吉田, 1970b)の作成過程で生じる誤差は、日照率で2%以下である。

(3) Qの推定式の誤差

(1)式を用いて  $Q/Q_0^*$  を推定するときの標準誤差は、回帰統計に用いた  $Q/Q_0^*$  の標準偏差に  $\sqrt{1-r^2}$  を乗じたものである。これによると、推定されるQの標準誤差は4%くらいである。

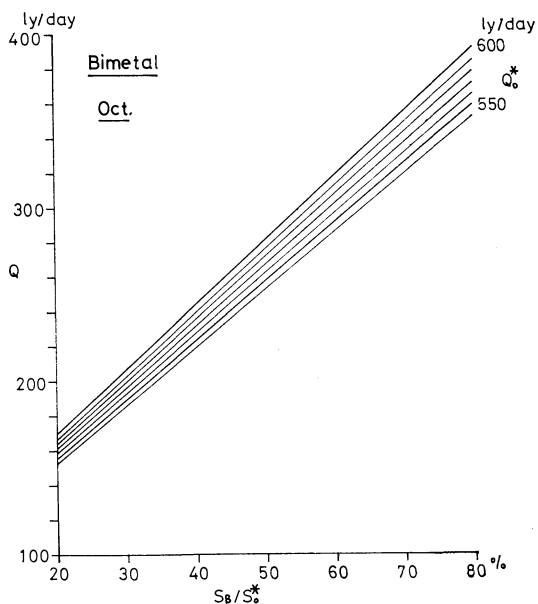
うえの(1)~(3)の誤差は、ランダムに生じるもので、総合した誤差は5~10%とみなされる。

(4) バイメタル日照計の感部の狂い

バイメタル日照計の接点間隔は、長い間に狂うことがあるといわれており、観測地点によっては、そのための偏りを示すことがあるのではないかと懸念されるが、くわしいことはわからない。周囲に比べて、気候学的に説明できないような、偏ったQの値が現われたときは、その日照計がおかしかつたのではないかと疑ってみる必要がある。

以上のべた事情を考慮して、閉じた等値線は、その中と同じ階級の値を示す地点が2以上あるときだけ描くことにした。

実際の等値線は、20ly/dayごとに描かれた。20ly/dayは、Qの絶対値の4~7%(季節によって異なる)に相当するから、前述の誤差と同じオーダーである。しかし、第3図(a)からわかるように、各等値線の間に含まれる観測地点の数が多いため、ここに描かれた等値線の誤差は、20ly/dayよりはるかに小さいと考えられる(統計学によれば、個々の資料の誤差がσのとき、n個の平均値の誤差は  $\sigma/\sqrt{n}$  になる。なめらかに等値線を描くことは、フリーハンドで図式平均を行なうことに相等する、と考えられる)。

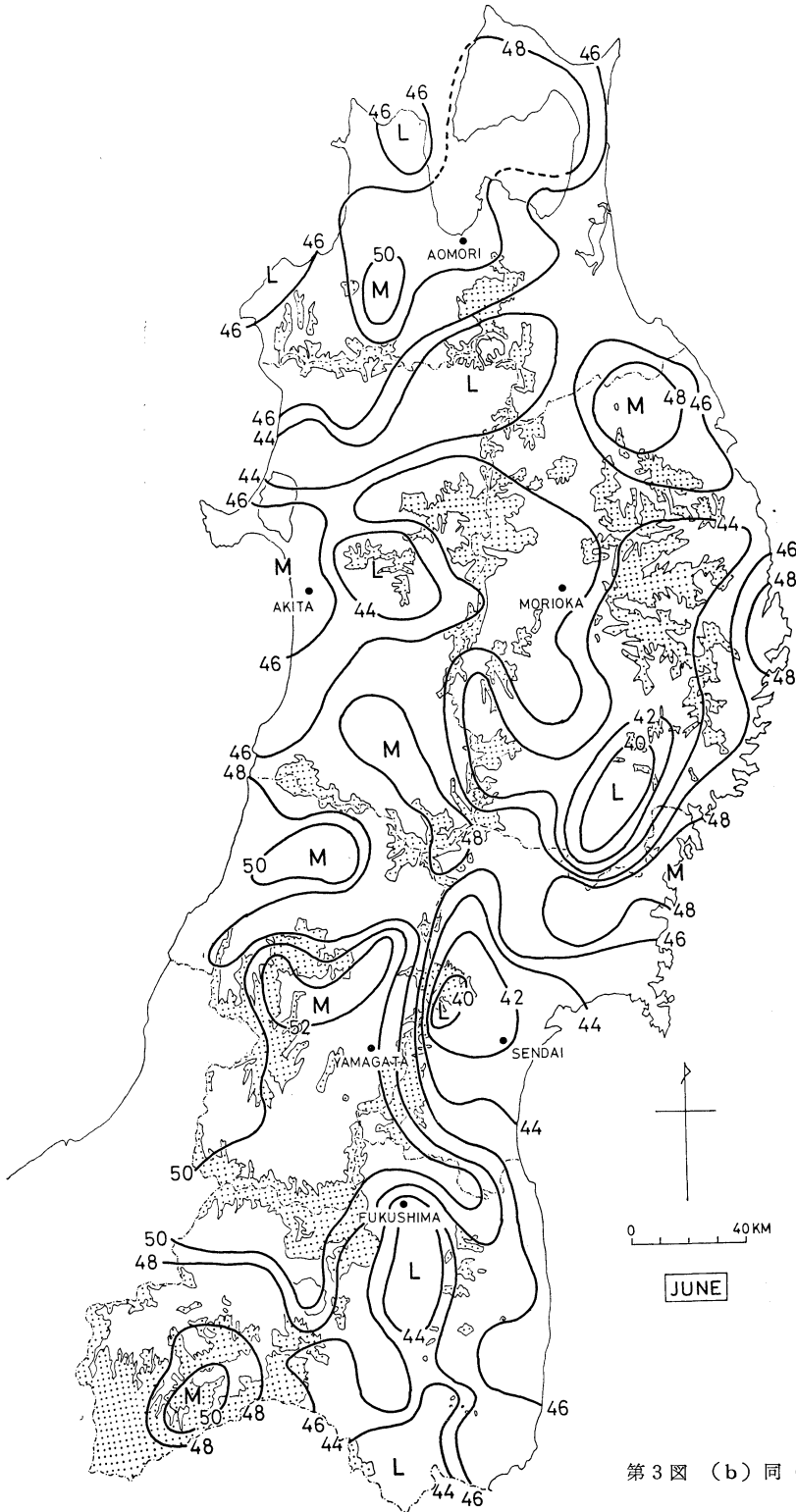


第2図 月平均の日照率から水平面日射量を推定するための図(10月の例)。

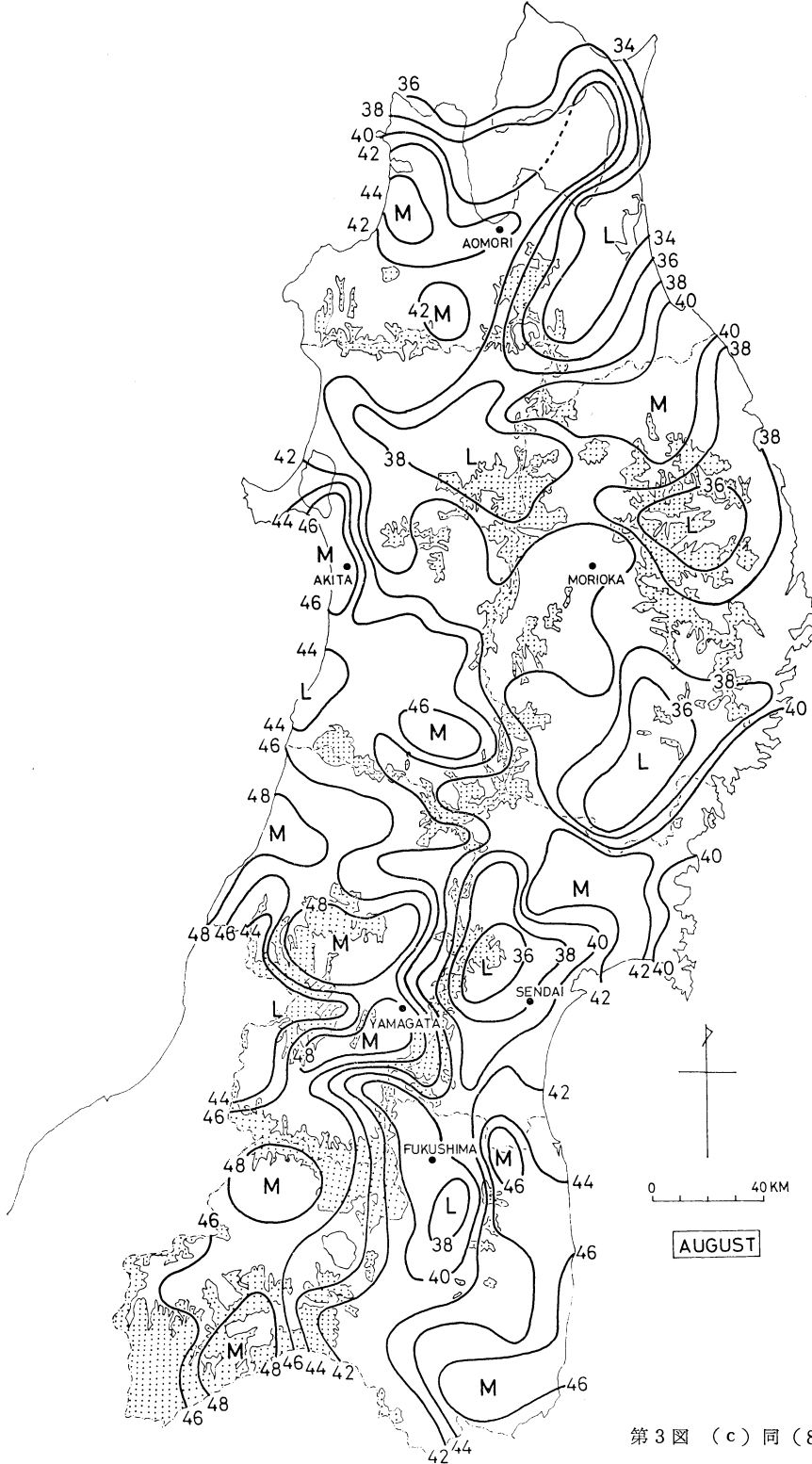
東北地方における月平均水平面日射量分布図の作成



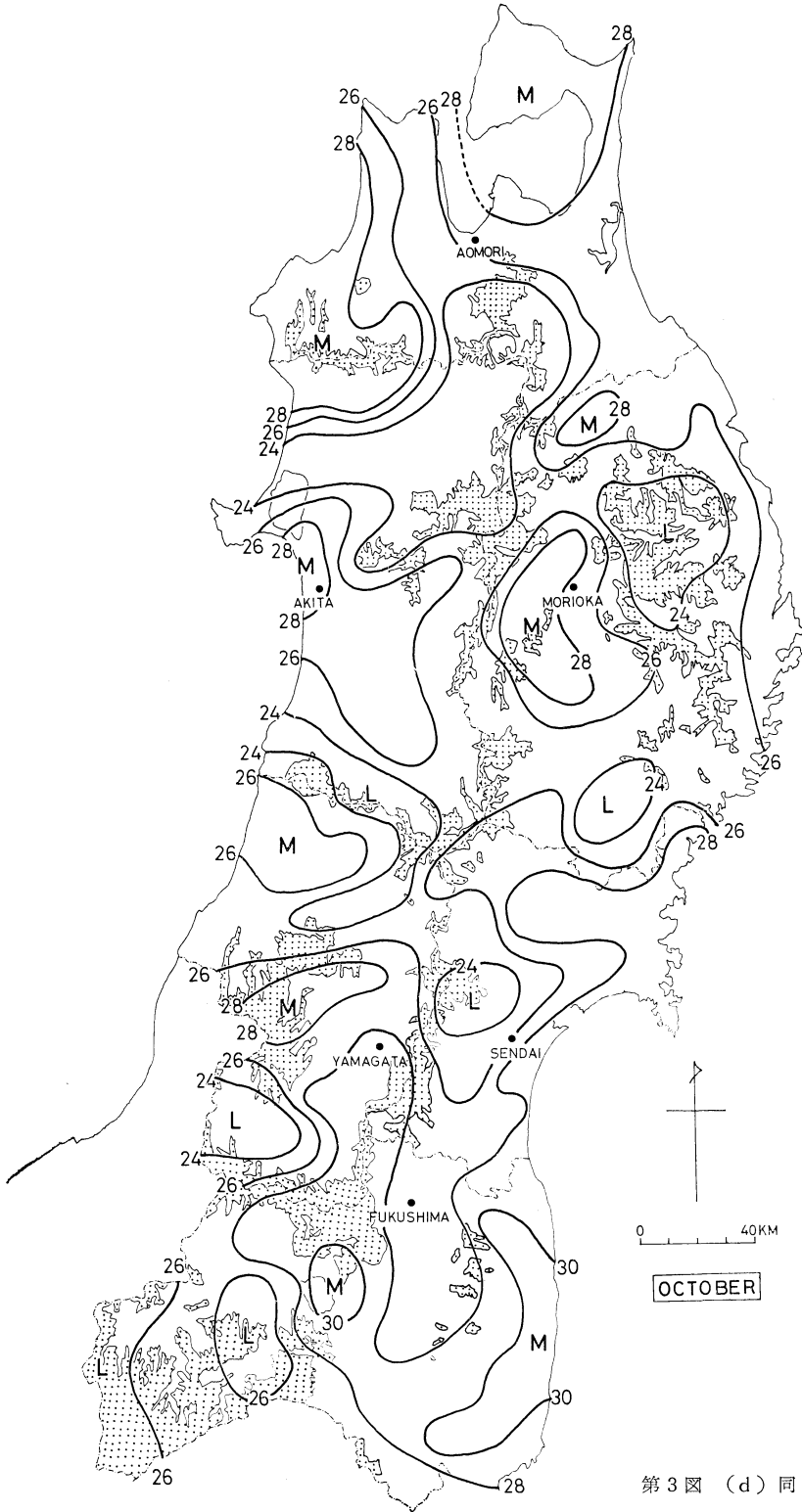
第3図 (a) 月平均水平面日射量の分布図 (4月). 単位は10MJ/day. 白丸と黒丸は観測地点. Mは日射量の多い地域, Lは少ない地域を, また, 点を打った地域は標高750m以上を示す.



第3図 (b) 同 (6月).



第3図 (c) 同 (8月).



第3図 (d) 同 (10月).

なお、バイメタル日照計は、その構造上、上空からの放射ばかりでなく、地表からの反射も受ける。そのため、積雪があるときには、見かけ上、いちじるしく大きい日照時間が観測される(吉田, 1968 b)。それ故、バイメタル日照計による値を用いて、積雪期(12~3月)の日射量を推定することは不適当である。

## 6. 月平均水平面日射量の分布図

4~11月の月別の水平面日射量の分布図を作成中であるが、これまでに作成を終えた4, 6, 8, 10月の分を、第3図(a)~(d)に示す。これらについて気がついた特徴を、つぎにあげる。

### (1) 青森県の北部から東部(日射少)

青森県北部から東部は、初夏から盛夏にかけて北東気流(やませ)の影響を受ける。6月にその徴候が現われ、8月にはいちじるしい日射不足を示す。

### (2) 青森県東部から秋田県北部(日射少)

大局的にみると、青森県三戸・八戸地方から、十和田湖ふきんをへて、秋田県米代川流域につづく地帯は、4~10月を通じて日射が少ない。

### (3) 津軽地方(日射多)

弘前を中心として、この地方は、概して日射が多い。

### (4) 北上山地(日射少)

6, 8, 10月に日射が少ない。

### (5) 岩手県内陸部(日射多)

盛岡、花巻を含む、北上川沿いの平野部は、4~10月を通じて、日射が多い。

### (6) 秋田県湯沢地方(日射多)

4~8月に日射が多い。

### (7) 宮城県西部(日射少)

仙台の西方にあたる、奥羽山脈沿いの地域は、4~10月を通じて日射が少ない。

### (8) 福島県中通り地方(日射少)

福島県の南東部地域は、4~10月を通じて日射が少ない。

### (9) 山形県内陸部から福島県会津・只見地方(日射多)

これらの地方は、4, 6, 8月とも、東北地方で最も日射が多い。

以上を概観すると、内陸平野部は、だいたいにおいて

日射が多く、沿岸部、および内陸でも海上からの気流の影響を受ける地方では、季節によって日射の多寡が起こる、といえそうである。

## 7. あとがき

東北地方に展開された農業気象観測所の日照時間観測値を用いて、水平面日射量のくわしい分布図の作成を試みた。今までにできあがった4, 6, 8, 10月の分布図について、いくつかの特徴を指摘したが、他の気候要素と比較しての、くわしい検討は、残りの5, 7, 9, 11月の分ができあがったときに行なう予定である。

終わりに、Page (1961) の論文をお貸しくださった、気象研究所関原・鈴木両氏、いろいろご協力くださった仙台管区気象台調査課の方々から感謝申しあげる。

## 文 献

- Bennett, I., 1964: A method for preparing maps of mean daily global radiation. Arch. Meteor. Geophys. Biokl., Ser. B, **13**, 2 Heft, 216-248.
- Kondo, J., 1967: Analysis of solar radiation and downward long-wave radiation in Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophysics, **18**, 91-124.
- Page, J.K., 1961: The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40° north - 40° south. United Nations Conference on New Sources of Energy, 16 May 1961, 19 pp.
- 関原 彊・鈴木 正, 1967: 日射と日照の相関関係およびロビッチ日射計の観測値について, 研究時報, **11**, 608-613.
- 吉田作松, 1968 a: 可照時間について, 天気, **15**, 255-258.
- 吉田作松, 1968 b: バイメタル日照計による観測値の性質—ジョルダン日照計との相違とその原因—, 研究時報, **20**, 6-23.
- 吉田作松, 1970 a: 水平面日射量におよぼす積雪の影響, 研究時報, **22** (3号に印刷中).
- 吉田作松, 1970 b: 日照率におよぼす地形地物の影響を補正する方法, 天気, **17**, 63-68.
- 和達清夫監修, 1958: 日本の気候, 東京堂, 442pp.