



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	気象衛星 NOAA/AVHRR による気温推定に関する研究
Author(s)	町村, 尚; MACHIMURA, Takashi; 堀口, 郁夫 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 15(4), 321-330
Issue Date	1987-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/12074
Type	departmental bulletin paper
File Information	15(4)_p321-330.pdf



気象衛星 NOAA/AVHRR による気温推定に関する研究

町村 尚*・堀口 郁夫

谷 宏・吉田 龍哉

(北海道大学農学部農業物理学教室)

(* 現在, 富山県立技術短期大学)

(昭和 62 年 2 月 12 日受理)

The Study of Air Temperature Estimation using NOAA/AVHRR

Takashi MACHIMURA*, Ikuo HORIGUCHI, Hiroshi TANI
and Tatsuya YOSHIDA

(Laboratory of Agricultural Physics, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

(* present address: Toyama Prefectural College of Technology)

I. はじめに

人工衛星によるリモート・センシングには, 次のような特徴がある。第 1 に広い地域をカバーできる (広域性), 第 2 に面的データが得られる (連続性), 第 3 に測定データをリアル・タイムで利用できる (即時性) ことである。人工衛星データは, この広域性, 連続性, 即時性のため, 入力データとしての潜在力は大きく, 非接触測定の欠点である精度を向上させることができるなら, この潜在力を十分に発揮できると考えられる。

また, 人工衛星データは農業気象の分野においても利用価値は高く, 土地利用調査, 生育状況調査, 収量予測, 気象災害に対する警報などに利用できると考えられる。この分野の先進国であるアメリカ合衆国では, 気象衛星データから日降水量, 日射, 日最高・最低気温, 植生指数, 積雪を推定するプロジェクトを推進している。これらのデータは, 農務省 (USDA) による世界の農業地帯の主要作物の収量予測の入力情報として利用している。

本研究は, 人工衛星データを農業気象に利用するための基礎研究として, 気象衛星 NOAA/AVHRR 赤外データから地上気温を推定し, 精度を向上させることを目的とした。人工衛星データから気温を推定するときの誤差として, 雲の影響, 大気の影響, 地上状態の影響などが考えられる。雲は地表からの放射を遮断し, 大気も地表からの放射を減衰させる。また, 人工衛星データから計算した地表面温度と気温の関係は, 様々な地上の熱的

特徴や地理的因子から影響を受ける。これらの誤差を取り除くため, 雲除去法, 大気補正, 地形補正について検討した。

II. 解析データ

解析には, 次に示す 4 種類のデータを使用した。

① NOAA データ

(AVHRR, TOVS 水蒸気データ)

NOAA はアメリカ海洋大気庁が管理する気象衛星で, NOAA 6, 7, 8 号のデータを解析に使用した。NOAA には, 4 種類のセンサが搭載されている。その内, AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) は画像を得るための測器で, MSS の一種である。TOVS (TIROS-N Operational Vertical Sounder) は, 温度, 水蒸気の鉛直分布の測定を主目的とするセンサである。

本研究では, 1981 年 7 月から 1984 年 11 月までの 19 の NOAA/AVHRR データを用いた。Table 1 に, 解析に使用した NOAA/AVHRR データを示す。また, 気象衛星センターが計算した TOVS の水蒸気ファイルを, 後に示す大気補正に使用した。対象地区は, 北海道全域とした。

解析にさきだち, AVHRR データの幾何学的歪を補正し, なんらかの地図座標に投影する必要がある。今回は, 正接変換を施し, 次にランペルト正角円錐図法の座標に投影した。

Table 1. NOAA/AVHRR data using in this study

No.	Time (GMT)	Day	Month	Year	Satellite	No.	Time (GMT)	Day	Month	Year	Satellite
1	10:00	30	Jul.	1981	NOAA-6	10	06:31	21	Jun.	1984	NOAA-7
2	18:48	03	Jul.	1982	NOAA-7	11	18:34	09	Jul.	"	"
3	05:06	10	Oct.	"	"	12	05:57	10	Jul.	"	"
4	05:32	12	May	1983	"	13	06:00	21	Sep.	"	"
5	05:02	31	May	"	"	14	18:25	21	Sep.	"	"
6	04:15	04	Jun.	"	"	15	05:48	22	Sep.	"	"
7	05:15	02	Jul.	"	"	16	18:13	22	Sep.	"	"
8	23:30	12	Aug.	"	NOAA-8	17	18:28	07	Oct.	"	"
9	22:07	22	Sep.	"	"	18	05:51	08	Oct.	"	"
						19	18:22	09	Nov.	"	"

② AMeDAS データ

気温推定のため、AMeDASの気温データをグラウンド・トゥースとして用いた。気温の測定点は、今回の対象地区である北海道内に162地点ある。

③ 海水温データ

大気補正法の評価のため、海水温度を用いた。これは、北大水産学部が南茅部町木直沖0.99 km (41°53.7'N, 141°04.3'E) で測定した、深度1 mの水温である。

④ メッシュ標高データ

地形によって気温推定値を補正するために、国土地理院発行の国土数値情報メッシュ標高データを用いた。このデータの単位格子は、経度差7'30"、緯度差5'である。これは約1 km×1 kmの大きさに相当し、AVHRRの最大分解能とほぼ一致する。

III. 雲除去法

雲は地表からの放射を遮断するため、雲の影響を受けている部分(画素)を除去する必要がある。

1. 雲除去アルゴリズム

今回のように大量のデータ(300×600画素)を分類するために、雲除去のアルゴリズムは自動的でないといけない。地表データと雲の分離には、次のような雲の特徴を利用した。

- ① 雲は、地表より低温である。
- ② 雲は、地表より可視域の反射率が大きい。
- ③ 雲は、地表より温度の空間的変化が大きい。
- ④ 雲は、集団で出現する傾向にある。

これらの性質を利用して、3×3ピクセルから成るサブセットを単位として次のような判別基準を設定した。

- ① AVHRR/Ch. 4の輝度温度が限界値より低けれ

ば、雲。

- ② AVHRR/Ch. 1の反射率が限界値より大きければ、雲。

- ③ サブセット内のCh. 4の輝度温度の最高、最低の差が限界値より大きければ、雲。

- ④ 隣接する8つのサブセットのうち6つ以上が異種であれば、そのサブセットは周囲と同種とする。各限界値を精密に決定するため、ディスプレイに出力した画像を見ながら限界値を決定する方法をとった。

2. 結果と考察

1983年6月4日の雲除去前のCh. 1, Ch. 4の画像をPhoto 1, 2に、雲除去後のCh. 4の画像をPhoto 3に

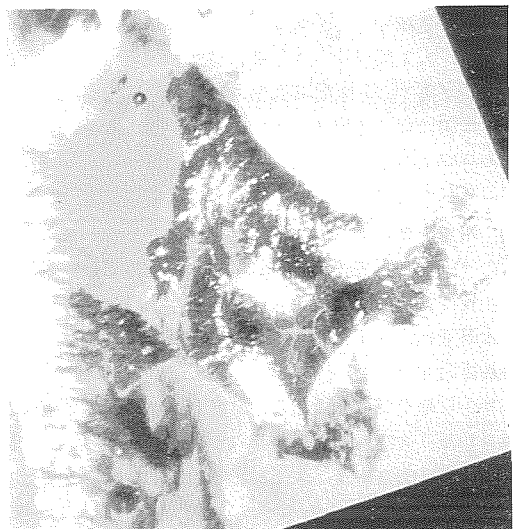


Photo 1. Visible image received: NOAA/AVHRR (Ch. 1)-4 June, 1983.

示す。

Photo 1 では、オホーツク海、日高、大雪、阿寒の山岳などに厚い雲が見られる。渡島半島には、薄い雲がかかっている。Photo 2 を見ると、オホーツク海と山岳の雲は、比較的高温で温度変化の小さい低層雲であることがわかる。一方、渡島半島上空の薄い雲は、非常に温度の低い雲であることがわかる。Photo 3 は、どちらの雲も良好に除去されたことを示している。このように、雲除去は一般に良好に行なわれたが、可視画像を利用できない夜間の場合は、誤判別がやや多かった。また、海陸



Photo 2. Infrared image received: NOAA/AVHRR (Ch. 4)-4 June, 1983.

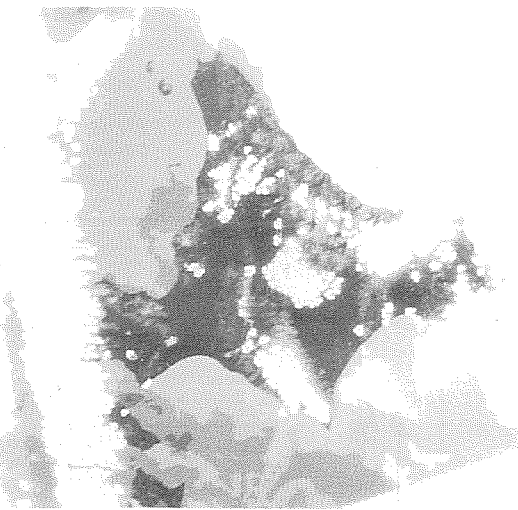


Photo 3. Infrared image processed for cloud cover: NOAA/AVHRR (Ch. 4)-4 June, 1983.

の温度差が大きい場合、海岸線を誤判別することがあった。

IV. 大気補正

大気補正量は、水蒸気と温度のプロファイルの他に、地表から衛星までの経路の長さにも関係する。しかし、Anding and Kauth (1970) は、2つの波長域で同時に観測した輝度温度から、水蒸気量、衛星天頂角を入力せずに表面温度を計算できることを示した。これは2つの波長域における大気の放射吸収の差を利用したものである。現在発表されている大気補正法には、1つの波長域を使用する方法と、2つの波長域を使用する方法がある。

1. 大気補正法

次に示す7種類の大気補正法を用いて表面温度を計算して、精度を調べた。

① GMS補正式

$$\left. \begin{aligned} T_s &= T_4 + JT \\ JT &= \sec \theta \left\{ 0.189 Aw + 4(1.0 - A) \right\} \\ A &= \frac{1400}{(310 - T_4)^2 + 1400} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

T_s : 表面温度 (K), T_4 : Ch. 4 の輝度温度 (K),
 JT : 大気補正量 (K), θ : 衛星天頂角, w : 可降水量 (mm)

式(1)は、GMS/VISSR 赤外チャンネルの大気補正のための経験式である。大気補正量は、衛星天頂角、輝度温度、可降水量 (P.W.) の関数で表わされる。なお、可降水量は、札幌管区気象台のラジオゾンデ・データから計算した。

② GMS補正式+3地点の可降水量

式(1)において、広い地域に札幌のみの可降水量の値を適用することに疑問があるため、札幌の他に稚内、根室のラジオゾンデ・データから計算した可降水量を用いた。なお、各観測点への適用は、3つの可降水量のうちその地点に最も近い値を用いた(最近隣内挿法)。

③ GMS補正式+TOVS水蒸気ファイル

さらに詳細な水蒸気データとして、NOAAのもうひとつのセンサであるTOVSの水蒸気ファイルがある。最も良好な状態(衛星天頂角が小さく、雲が少ない)では、今回の地域内に約100の測定値が含まれる。また、このデータはAVHRRと同時に観測であることも、利点のひとつである。このデータを、可降水量として用いた。可降水量の値の適用は、②の場合と同様に、最近隣内挿法による。

④ Prabhakara の推定式

Prabhakara *et al.* (1974) が発表した方法を AVHRR の波長域に適用して、式(2)を得た。吸収効果係数 K は、水蒸気の放射吸収係数から2つの代表温度における可降水量と透過率の関係を計算し、これを線形と近似したときの勾配から計算される。

$$T_s = \frac{K_5 T_4 - K_4 T_5}{K_5 - K_4} = 2.824 T_4 - 1.824 T_5 \quad (2)$$

$$= T_4 + 1.824(T_4 - T_5)$$

T_5 : Ch. 5 の輝度温度 (K), $K_4=0.093$,
 $K_5=0.144$: 吸収効果係数

⑤ Strong and McClain の推定式

Strong and McClain (1984) が発表した推定式で、放射伝達モデルにラジオゾンデ・データを入力し輝度温度から計算した式を、海面温度の実測値で修正した式である。

$$T_s = 1.0346 T_4 + 2.58(T_4 - T_5) - 10.06 \quad (3)$$

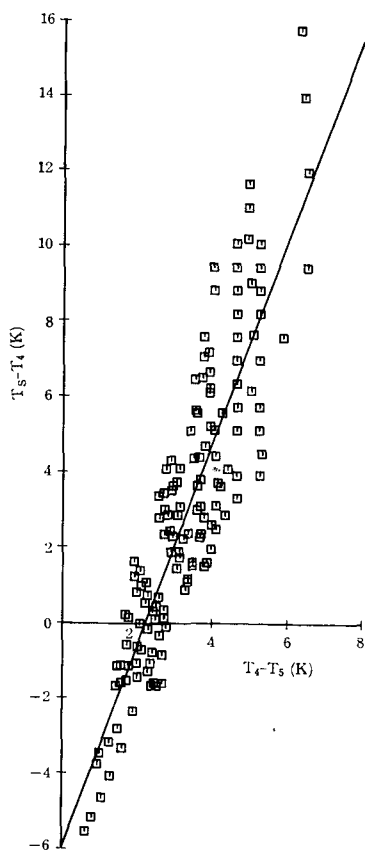


Fig. 1. Relationship between $(T_s - T_4)$ and $(T_4 - T_5)$ calculated by LOWTRAN 6.

⑥ LOWTRAN 6 による推定式 1

LOWTRAN 6 は、与えられた経路と大気について、大気の透過率と大気放射を計算するプログラムで、米空軍地球物理研究所が開発したものである。大気データとして、1982, 83年の8つの観測日の札幌管区気象台ラジオゾンデ・データ (高度, 気圧, 気温, 相対湿度) を入力し、4つの地表面温度 (0, 10, 20, 30°C) と5つの天頂角 (0.0, 44.4, 56.3, 63.0, 67.4°) について、衛星で観測されるであろう Ch. 4, Ch. 5 の放射輝度を計算した。この輝度を、輝度温度に変換し、 $(T_s - T_4)$ を $(T_4 - T_5)$ に対してプロットすると、Fig. 1 図を得た。この回帰直線から、次の推定式を得た。

$$T_s - T_4 = 2.67(T_4 - T_5) - 5.89 \quad (4)$$

このシミュレーションによる推定誤差の rms (root mean square) は、1.89 (K) であった。

⑦ LOWTRAN 6 による推定式 2

式(4)の計算に用いたデータから、今度は衛星天頂角

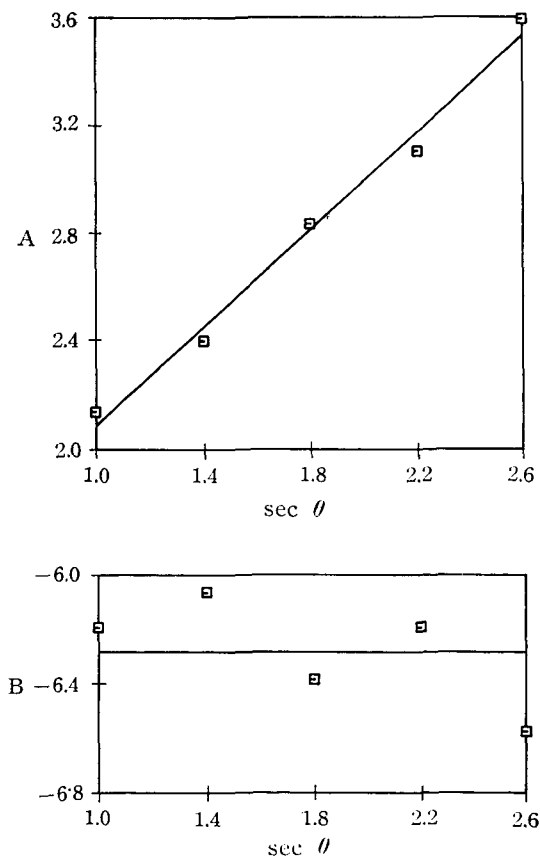


Fig. 2. Zenith angle versus constants of the regression line.

Table 2. Comparisons of sea temperatures estimated by various methods of atmospheric correction

No.	Time (JST)	Day	Month	Year	Measured Sea Temperature	Estimated Sea Temperature (°C)					
						1, 2	3	4	5	6	7
13	15	21	Sep.	1984	20.4	22.0	21.9	19.8	20.4	14.6	13.8
14	03	22	Sep.	"	20.2	21.1	22.2	19.3	20.3	14.6	13.7
15	15	22	Sep.	"	20.4	21.4	23.3	19.8	20.6	14.8	13.8
16	03	23	Sep.	"	20.0	21.5	22.3	18.8	19.5	13.7	13.3
17	03	08	Oct.	"	16.5	11.6	11.7	9.2	9.1	3.6	3.1
18	15	08	Oct.	"	16.6	16.1	16.6	15.7	16.2	10.5	9.6
19	03	10	Nov.	"	12.5	12.3	12.3	11.0	11.5	6.0	5.4
Bias (K)						0.7	1.4	-1.0	-0.3	-6.0	-6.8
rms (K)						0.80	1.15	0.32	0.41	0.34	0.22

によって別個の回帰直線 ($T_s - T_4 = A(T_4 - T_5) + B$) を求めた。衛星天頂角による係数の変化を、Fig. 2 に示す。係数 A は $\sec \theta$ と線形関係にあるが、係数 B については有意な関係はみられなかった。係数 A を $\sec \theta$ の 1 次関数として表わし、係数 B は平均値をとって、次の推定式を得た。

$$T_s - T_4 = (0.905 \sec \theta + 1.19)(T_4 - T_5) - 6.28 \quad (5)$$

推定誤差の rms は天頂角と共に増大する傾向にあり、その平均は 0.71 (K) であった。

2. 結果と考察

NOAA/AVHRR 赤外データに 7 種類の大気補正を施し、表面温度を計算した。各大気補正法の精度を比較するため、秋季の 7 つのデータについて、計算された表面温度を南茅部町木直沖で測定された海水温度 (水深 1 m) と比較した。秋季から冬季は海水温度の鉛直変化が小さくなるため、この水深の 1 m 海水温度と海面温度の差は、小さいと考えられる。この結果を Table 2 に示す。この地点には札幌管区気象台のラジオゾンデデータが適用されるので、大気補正法 ① と ② の結果は同じである。いずれの大気補正法で計算した海面温度と実測の海水温の差の平均はゼロでなく、バイアスが見られる。なお、10 月 8 日 3 時の計算値は実測値より著しく低温であるため、計算から除外した。この原因は、海水温度測定点が海岸から 0.99 km しか離れていないため、わずかな位置合せの誤差によって陸地に重なったためであると考えられる。

どの補正法が海面温度の相対的变化を良好に再現するかを調べるために、各大気補正法で計算した海面温度にバイアス補正を施したのち、誤差の rms を計算した。

2 つのチャンネルを使用した推定法 (④~⑦) は、1 つのチャンネルを使用している GMS 補正法 (①~③) より全て誤差が小さい。特に、衛星天頂角を考慮した ⑦ LOWTRAN 6 による推定式 2 の推定誤差は、rms が 0.22 (K) と他の大気補正法より優れている。また、③ の TOVS 水蒸気ファイルを使用した GMS 補正式は、推定誤差が最も大きかった。TOVS 水蒸気ファイルによる可降水量の分布とラジオゾンデによる可降水量の比較

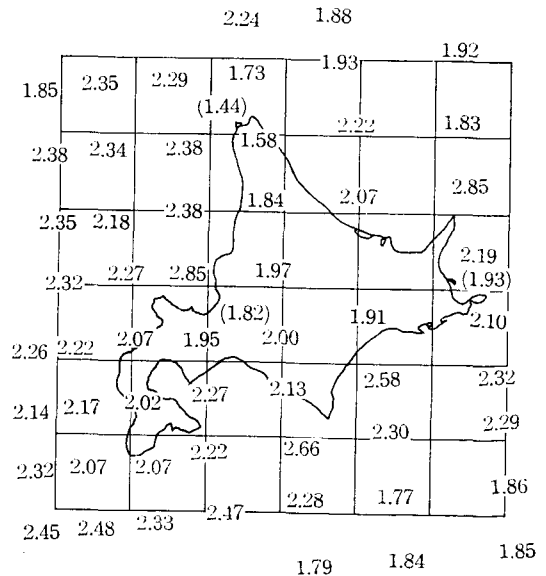


Fig. 3. Distribution of precipitable water calculated from TOVS data. Values in brackets are data from radiosonde.

の一例(1983年5月12日)を、Fig. 3に示す。Fig. 3の例のように、TOVS水蒸気ファイルは、可降水量を過大推定する傾向が強かった。

今後は、もっと海岸から離れた海上の海面温度と比較する必要がある。

7種類の気象補正によって計算した地表面温度をAMeDAS気温と比較し、回帰式、相関係数、回帰推定残差のrmsを計算した。この結果をTable 3に示す。GMS補正式を用いた3つの方法の中では、②の3地点の可降水量を使用したものがわずかに良好であった。この②と4つの2チャンネル推定式の間には、大差がない。

以上のように、回帰法によって気温を推定すると、大気補正法による海面温度の推定誤差のような差は見られなくなった。従って、回帰法では、気温推定に及ぼす大気補正の精度の影響は、わずかであるといえる。

Table 3. Accuracy of air temperatures estimated by various methods of atmospheric correction

Method of Atmospheric correction	rms (K)		
	All day	Day	Night
1 GMS Correction	1.97	1.90	2.09
2 GMS Correction using P.W. for 3 points	1.97	1.90	2.09
3 GMS Correction using TOVS data	1.98	1.91	2.09
4 Prabhakara's Equation	1.92	1.86	2.01
5 Strong and McClain's Equation	1.92	1.87	2.00
6 Equation by Lowtran 6-(1)	1.92	1.87	2.00
7 Equation by Lowtran 6-(2)	1.92	1.87	2.01

V. 地表面補正

気温と地表面温度の関係は、多くの地形・地理的または気象学的因子に影響される。今回は地形・地理的因子のみに着目して、気温と地表面温度の関係を調べた。

1. 気温推定における海の影響

NOAA/AVHRR赤外画像を見ると、海と陸地の間にかなり大きな温度差が見られることが多い。特に、NOAA 7の観測時刻(約02:30と14:30)は、1日中でも海と陸の温度差が大きい時刻である。特に14:30頃は陸地が海より高温で、海風が発達する時刻である。このような状態では、海岸付近の気温が地表面温度よりも

かなり低くなることが予想される。海岸に近い観測点を除いた地表面温度と気温の比較を試み、海の影響を調べた。なお、大気補正式は、⑦LOWTRAN 6による推定式2を使用した。

2. 気温推定における地形・地理的因子の影響

気温と地表面温度の関係は、様々な地形・地理的因子の影響を受けると考えられる。海の影響も含めた様々な地形・地理的影響を考慮して、海岸を含む全域の気温推定を試みた。地形・地理的条件を表わす因子として、各観測点についてTable 4のNo. 2から20に示す量を計算した。地形データは、国土地理院発行の国土数値情報メッシュ標高データを使用した。このデータの単位メッシュは、約1×1 km²の大きさである。各観測所を含むメッシュを中心メッシュと呼ぶ。起伏度は、中心メッシュ内の最高、最低高度の差である。海岸距離は、最も近い海岸線までの距離(km)の他、海水温の差を考慮するため、太平洋、日本海、オホーツク海に分けた海岸距離も使用した。Table 4において、平均高度、陸度、標高差の

Table 4. Geographical factors as Predictor Variable for using temperature estimation

No.	Predictor Variable	
1	TS	Surface Temperature
2	ROO	Undulation of Land
3	I	Longitude
4	J	Latitude
5	DIS 1	Distance from P. Ocean
6	DIS 2	Distance from Japan. Sea
7	DIS 3	Distance from Okhotsk. Sea
8	DIS 0	Distance from near Sea
9	ZB(5)	Mean Height
10	ZB(20)	Mean Height
11	RL(5)	Land Ratio
12	RL(20)	Land Ratio
13	RD(5)	Diff. of Altitude
14	RD(20)	Diff. of Altitude
15	EX(5, 0)	Open Ratio
16	EX(5, 50)	Open Ratio
17	EX(5, 100)	Open Ratio
18	EX(20, 0)	Open Ratio
19	EX(20, 50)	Open Ratio
20	EX(20, 100)	Open Ratio

Table 5. Comparisons of correlation and root mean square between some calculations for air temperature estimation

No.	Time	Day	Month	Year	Correlation (All Data)	rms	Correlation (Data for Inland)	rms	Multiple Regression Correlation	rms
2	04	04	Jul.	1982	0.61	1.48	0.56	1.44	0.65	1.43
3	14	10	Oct.	1982	0.63	1.21	0.63	1.17	0.84	0.85
4	15	12	May	1983	0.84	2.24	0.70	1.78	0.93	1.56
5	14	31	May	”	0.72	2.86	0.63	2.44	0.91	1.74
6	13	04	Jun.	”	0.45	2.69	0.40	2.09	0.87	1.50
7	14	02	Jul.	”	0.75	2.20	0.63	1.99	0.87	1.61
10	16	21	Jun.	1984	0.65	1.64	0.60	1.39	0.87	1.05
11	04	10	Jul.	”	0.63	2.24	0.82	1.54	0.86	1.48
12	15	10	Jul.	”	0.63	2.13	0.46	1.83	0.91	1.16
13	15	21	Sep.	”	0.64	1.20	0.74	0.98	0.76	1.01
14	03	22	Sep.	”	0.59	1.93	0.26	1.85	0.76	1.56
15	15	22	Sep.	”	0.75	1.54	0.81	1.38	0.91	0.95
16	03	23	Sep.	”	0.68	2.44	0.64	2.30	0.77	2.13
17	03	08	Oct.	”	0.77	1.82	0.68	1.24	0.89	1.31
18	15	08	Oct.	”	0.53	0.98	0.62	0.86	0.83	0.66
Mean						1.92		1.64		1.37

(5), (20) の数値は、中心メッシュから東西南北にそれぞれ5または20メッシュ先まで、すなわち11×11 km²または41×41 km²の値を使用したことを示している。平均高度は、11×11 km²および41×41 km²内の平均高度である。陸度は、11×11 km²および41×41 km²内に占める陸地の面積率である。標高差は、11×11 km²および41×41 km²内の最高と中心メッシュの標高差である。開放度は11×11 km²および41×41 km²内の中心メッシュより0, 50, 100 m以上高くない面積率であり、Table 4 では (5, 0), (20, 50) などの数値で示している。Table 4 に示す19の因子のうち、海の影響を表わす因子は海岸距離と陸度であり、起伏度は地形の複雑さを表わす因子である。また、標高差と開放度は、山岳気流、放射冷却などの影響の受けやすさを表わす因子である。

人工衛星データから計算した地表面温度と Table 4 の地形・地理的因子を説明変数として、重回帰法によって気温を推定する式を作成した。地表面温度の計算には、① LOWTRAN 6 による推定式 2 を使用した。合計 20 の説明変数から寄与の大きい因子を取捨選択するステップワイズ重回帰法を使用した。説明変数の選択基準は、危険率 1% とした。

3. 結果と考察

解析結果を、Table 5 に示す。AMeDAS の全観測点 (162 点) から海岸の観測点を除いた場合、回帰推定残差の rms は、1.92 (K) から 1.64 (K) に減少した。このことは、海岸付近における気温と地表面温度の関係は、内陸とは異なることを示している。ステップワイズ重回帰による回帰推定残差の rms は 1.37 (K) で、全データおよび海岸を除くデータを用いた単回帰による結果より、精度はかなり改善されている。

選択された変数の一覧を、Table 6 に示す。昼間は夜間より選択する変数が多く、地形・地理的影響が大きいたことがわかる。重回帰法の採用による精度の向上も、昼間の方が大きかった。説明変数の中では、地表面温度以外は海岸距離、標高差が選択される頻度が多かった。次いで、緯度、開放度が多く選択された。全体的に、海の影響が大きかった。

VI. 要 約

気象衛星赤外データから気温を推定するために、雲の除去、大気補正、地表面温度と気温の関係などについて研究を行なった。

雲の除去は、次のような判定基準で行なった。

Table 6. Predictor Variables selected in multiple regression analysis

No.	Predictor Variable																				計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2	○	○																			2
3	○		○	○				○					○				○				6
4	○			○				○				○	○				○				6
5	○		○			○	○	○			○										6
6					○		○	○			○		○								5
7	○				○	○		○						○			○				6
10	○					○	○	○						○			○				6
11	○	○		○				○	○				○								6
12	○		○	○		○	○	○						○							7
13	○				○									○				○	○	○	6
14	○					○		○					○								4
15	○		○	○			○						○					○	○	○	8
16	○				○				○				○								4
17	○	○	○		○		○				○		○	○				○	○		10
18	○			○		○				○				○	○			○	○		8
計	14	3	5	6	5	6	7	9	1	1	2	2	7	7	1	0	5	4	3	2	90

- ① AVHRR/Ch. 4 の輝度温度が限界値より低ければ、雲。
- ② AVHRR/Ch. 1 の反射率が限界値より大きければ、雲。
- ③ サブセット内の Ch. 4 の輝度温度の最高、最低の差が限界値より大きければ、雲。
- ④ 隣接する8つのサブセットのうち6つ以上が異種であれば、そのサブセットは周囲と同種とする。

可視と赤外の両方の画像を用いて、精度良く雲を判別した。

7種類の気象補正法によって補正を行なった。その結果、赤外の2つのチャンネルを用いる気象補正法は、単チャンネル法より精度が高かった。しかし、従来言われていたような衛星天頂角の影響を修正する能力は乏しく、天頂角によって係数を変化させたLOWTRAN 6による推定式2が最も精度良く気象補正ができた。また、地表面温度から回帰法によって気温を推定する場合、気象補正の種類による精度の差はわずかであった。

人工衛星データから気温を推定するため、地表面温度の他に19の地形・地理的因子をステップワイズ重回帰によって取捨選択した。その結果、海岸距離、標高差が選択される頻度が多かった。次いで、緯度、開放度が多く選択された。

この重回帰による最終的な気温推定精度は、回帰推定残差の rms が 1.37(K) であった。

今後、グランド・トゥルス・データ (特に、海面温度データ) を充実させると共に検証を行なった上で、今回の結果を評価する必要がある。

参 考 文 献

1. ANDING, D. and R. KAUTH, 1970: Estimation of Sea Surface Temperature from Space, Remote Sensing of Environment, vol. 1, p. 217
2. BARTON, I. J., 1983: Dual Channel Satellite Measurements of Sea Surface Temperature, Quarterly-Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 109, p. 365
3. BARTON, I. J., 1985: Transmission Model and Ground-Truth Investigation of Satellite-Derived Sea surface Temperatures, Journal of Climate and Applied Meteorology, vol. 24, p. 508
4. BENEDICT, W S. and L. D. KAPLAN, 1959: Calculation of Line Width in H₂O-N₂ Collisions, The Journal of Chemical Physics, vol. 30, p. 388
5. BIGNELL, K. J., 1970: The Water-Vapour

- Infra-red Continuum, Quarterly-Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 96, p. 390
6. Goody, R. M., 1964: Atmospheric Radiation I, Theoretical Basis Oxford, The Clarendon Press, p. 125-228
 7. KELLY, K. A., 1985: Separating Clouds from Ocean in Infrared Images, Remote Sensing of Environment, vol. 17, p. 67
 8. KNEYZYS, F. X., E. P. SHETTLE, W. O. GALLERY, J. H. CHETWYND, JR., L. W. ABREU, J. E. A. SELBY, R. W. FENN and R. A. MCCLATCHEY, 1980: Atmospheric Transmittance/Radiancs: Computer Code LOWTRAN5, AFGL-TR-80-0067, Air Force Geophysics Laboratory, p. 1-273
 9. KNEYZYS, F. X., E. P. SHETTLE, W. O. GALLERY, J. H. CHETWYND, JR., L. W. ABREU, J. E. A. SELBY, S. A. CLOUGH and R. W. FENN, 1980: Atmospheric Transmittance/Radiancs: Computer Code LOWTRAN6, AFGL-TR-83-0187, Air Force Geophysics Laboratory, p. 1-200
 10. KUNDE, V. G. and W. G. MAGUIRE, 1974: Direct Integration Transmittance Model, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, vol. 14, p. 803
 11. MCCLAIN, E. P. W. G. PICHEL, C. C. WALTON, Z. AHMAD and J. SUTTON, 1983: Multi-Channel Improvements to Satellite-Derived Global Sea Surface Temperatures, Advances in Space Research, vol. 2, p. 43
 12. McMILLIN, L. M., 1975: Estimation of Sea Surface Temperatures from Two Infrared Window Measurements with Different Absorption, Journal of Geophysical Research, vol. 80, p. 5113
 13. PRABHAKARA, C., G. DALU and V. G. KUNDE, 1974: Estimation of Sea Surface Temperature From Remote Sensing in the 11-to 13- μ m, Journal of Geophysical Research, vol. 79, p. 5039
 14. STRONG, A. E. and E. P. MCCLAIN, 1984: Improved Ocean Surface Temperatures from Space-Comparisons with Drifting Buoys, Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 65, p. 138
 15. WEINREB, M. P. and A. C. NEUENDORFFER, 1973: Method to Apply Homogeneous-Path Transmittance Models to Inhomogeneous Atmospheres, Journal of the Atmospheric Sciences, vol. 30, p. 662
 16. 会田 勝, 1982: 大気と放射過程, 気象学のプロムナード8, 東京堂出版, p. 63-151
 17. 上原勝徳・田中信也, 1984: LOWTRAN 6による AVHRR 赤外データの大気補正, 日本リモートセンシング学会第4回学術講演会論文集, p. 9-10
 18. 川口至商, 1983: 多変量解析入門 I, 数学ライブラリー 32, 森北出版株式会社, p. 3-33
 19. 気象衛星センター, 1983: TOVS データ処理システムの解説, 気象衛星センター技術報告, 特別号, p. 1-48.
 20. 栗原弘一・村上律雄, 1982: 広島県メッシュ気候図 (1) 1 km² メッシュ平均気温の推定, Journal of Meteorological Research, vol. 1, p. 17
 21. 小坂和夫, 1982: 教程 地図編集と投影, 山海堂, p. 128-153
 22. 日本リモートセンシング研究会, 1981: 画像の処理と解析, リモートセンシング実用講座, 共立出版株式会社, p. 166-184
 23. 水野 量・市川政治, 1984: メッシュ気候図作成におけるステップワイズ回帰分析法の改良: Journal of Meteorological Research, vol. 36, p. 31

Summary

Shelter height temperature was estimated using NOAA/AVHRR infrared channels and its accuracy was studied. Analyses were performed for three subjects—cloud screening, atmospheric correction, and shelter height temperature estimation.

To delete cloud covered areas from the image, both visible (Ch. 1) and infrared (Ch. 4) channels were used. In general, the accuracy of screening was satisfactory except for some nighttime data, when the visible channel was useless. Also clouds over some coastal areas and some highlands were difficult to distinguish.

Seven different equations for atmospheric correction were applied. The equations using two different AVHRR infrared channels (Ch. 4 and Ch. 5) were more accurate than those using a single channel (Ch. 4). Although the equation using two channels has been said to correct atmospheric error by satellite-zenith angle, the use of this term is required for calculation of more accurate surface temperatures. The ground surface temperatures calculated by the seven different equations were compared with AMEDAS air temperature. The accuracy of estimated shelter height

temperature using the regression equation between the surface temperature and AMeDAS air temperature was 1.93(K) and approximately independent of the type of atmospheric correction.

The relationship between shelter height temperature and various factors was studied using stepwise-multiple-regression analysis. Surface temperatures calculated from NOAA/AVHRR data and 19 geographical parameters were employed as

independent variables. The accuracy of the estimated temperature became 1.37(K). The following parameters were selected frequently in multiple-regression equations: distance from coast line, altitude difference between the center and the highest point of the square area, latitude, and degree of openness. It can be recognized that the relation between surface temperature and shelter height temperature is greatly effected by oceans.