

マイクロ波ラジオメトリにおける地表解像度の向上に関する研究

佐々木保徳*¹

マイクロ波ラジオメトリーは、すべてのマイクロ波リモートセンシングの中で得られる情報量は最も多い。しかし、他の方法に比べて地表解像度が低いことが唯一の欠点である。この論文は、逆解法を利用して、地表解像度を4～5倍高くする解析法を提案するものである。センサーとしては、1999年に打ち上げられる予定の新マイクロ波放射計AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer) を考えているが、まだデータがないため、解析法の研究に必要なデータを作成するための観測シミュレーションを行った。観測対象は海氷である。この方法により推定される地表の輝度温度は、大きなラフネスを示したり、また負の値となることさえあって不合理である。そこで、先見的信息、すなわち、推定される輝度温度値には負の値も大きなラフネスもないはずであること、を束縛条件として利用して合理的解析結果を導くための方法であるPOCS法 (Projection Onto Convex System: 凸座標系投影法) を用いた。その結果、海水間隔が20kmと50kmの場合について、海水エッジの先鋭化を試みた結果、4～5倍の解像度の向上が見られた。

キーワード: マイクロ波, 地表解像度, 逆解法, 凸座標系投影法, 海氷

Improvement of Ground Resolution in Microwave Radiometry

Yasunori SASAKI*²

Microwave radiometry gives us maximum information among all microwave remote sensing technologies, however, this technology has only one defect that is the ground resolution is much poorer than any other technology. This paper, therefore, proposes an analytical method to improve the ground resolution four or five times using an inversion method. AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer) is the sensor which is to be launched in 1999 and no data is yet available, therefore, observation simulation is made to supply the data for analytical study. Ice sea is the objective. The brightness temperature of the ground retrieved by inversion procedure shows much rough change and even negative values which are unreasonable. Then POCS (Projection Onto Convex System) method, which adopts some apriori information to lead to the reasonable analytical

* 1 海洋観測研究部

* 2 Marine Research Department

estimation, is introduced. Then two pieces of apriori information are adopted as constraint, i.e., the estimated brightness temperature shows neither roughness nor negative values. The resultant analytical method enabled us to attain a higher improvement of ground resolution by four to five times in the case of ice sea 20 and 50km apart among ice floes.

Key words : ground resolution, inversion method, microwave, POCS, sea ice

1 はじめに

わが国でも、高性能の人工衛星用マイクロ波放射計 AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer) が1998年度に打ち上げられることになっている。図1は、このAMSRの概観を示したもので、図2は、これを搭載するADEOS-IIによる観測の概念図である。

マイクロ波ラジオメトリは、他のマイクロ波リモートセンシングに比して、情報量は遙かに多いが、アンテナのビーム幅が広いと平滑化が生じ、地表解像度が低いことが欠点である。地表解像度 d は(1)式で与えられる。

$$d = \frac{H\lambda}{D} \quad (1)$$

ここで、 H 、 D 、 λ は、それぞれ観測高度、アンテナの実開口径、マイクロ波の波長である。したがって、地表での距離分解能は周波数が低いほど、また、アンテナ口径が小さいほど低くなる(地上での距離が大きくなる)。例えば、AMSRの最低周波数である6GHzでは、メインビーム幅を3dB幅(アンテナ受信感度が、ビーム主軸方向のその50%となる方向)としても、そのフットプリントは約71km×約41km(アンテナに傾きがあるため衛星の進行方向が大きい)で、実際はさらにその数倍となる。これを改善するには、アンテナ口径が大きいほどよいが、アンテナ口径の大型化の試みはこれまでになされてきたが、プラットフォームが人工衛星であることから限界がある。また、地表解像度の高い短波長のみを採用するとすれば、観測対象の種類が限定されることから得られる情報に限りを生じる。

このように、アンテナ口径や周波数の上からは、地表距離分解能の向上にも限界がある。そこで、地表距離分解能を向上させるためのその他の方法を考えてみると、(1)マルチホーンによる方法(半画素ずつずらす方法)、(2)周波数をずらす方法(観測周波数付近において少しずつずらした複数の周波数チャンネルを設け、それらによる観測を少しずつ位置を変えて行い合成する方法)、(3)自己回帰モデルに基づく方法(単一周波数で、位置を少しずつずらしながら観測したデータから各フットプリントを細分化した系列が何らかの統計的モデルに従うと仮定

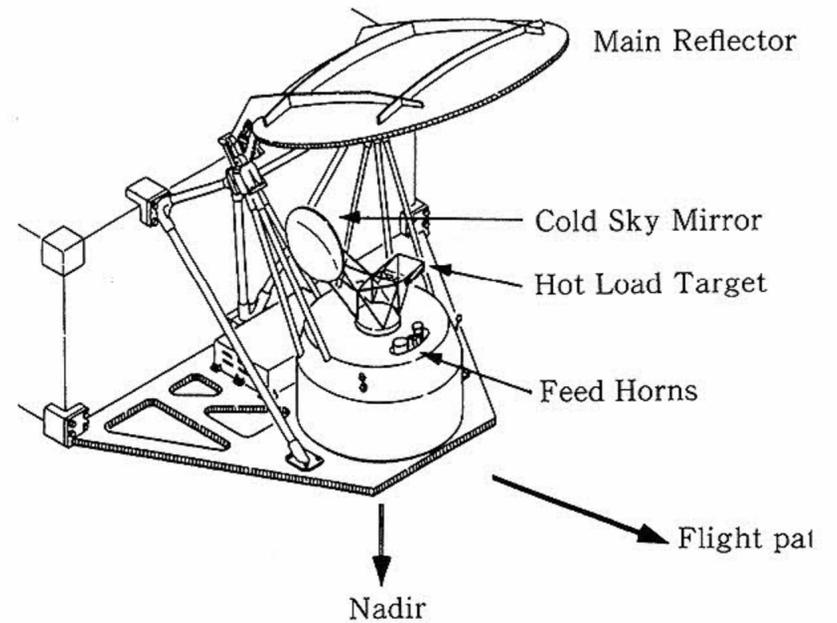


図1 AMSRの外観
Fig. 1 Overview of AMSR

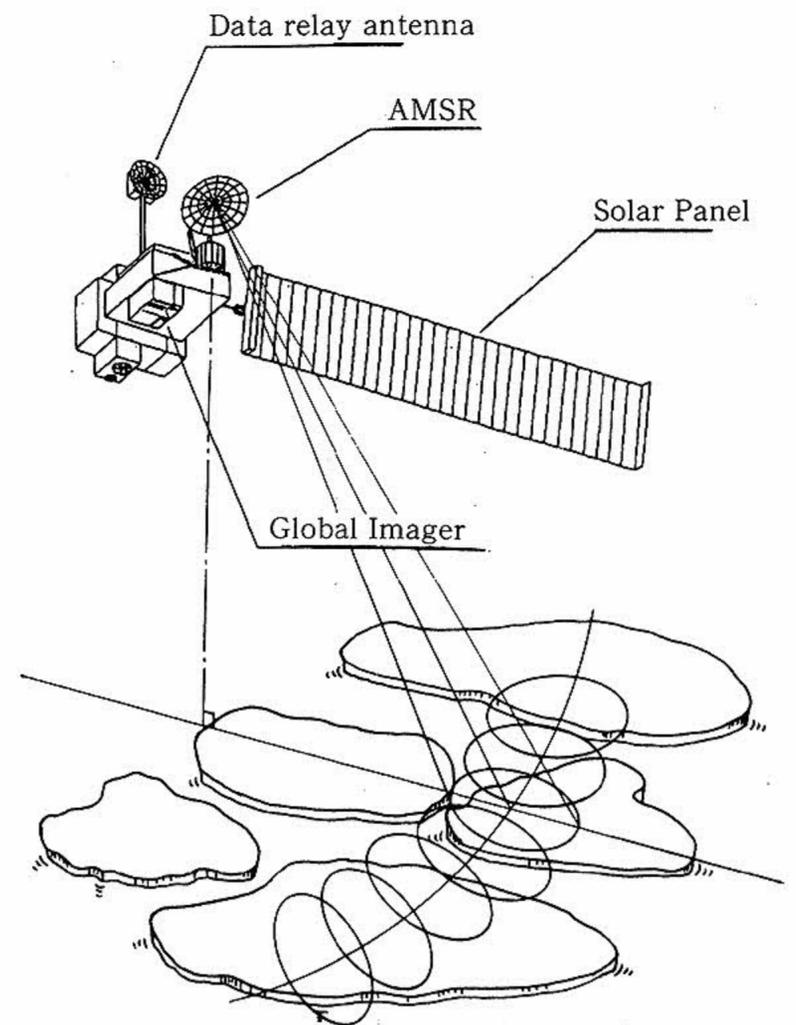


図2 氷海観測中のAMSRの模式図
Fig. 2 Schematic sketch of AMSR observing ice sea.

して、細分化した個々のメッシュにつき推定を行う方法)、(4)逆問題の解法に基づく方法(単一周波数で、位置をずらしながら観測したデータから逆解法により地表情報を推定する方法)などがある。このうち、(1)および(2)にあってはハードウェア上の考慮が必要であり、(3)にあっては、純粋に統計的方法に近いため、推定される情報は実際の情報と比較して不合理な部分が多くなることは避けられない。そこで、本研究では(4)の方法による地表距離分解能の向上を図った。

センサーとしては、AMSRを想定したが航空機用センサーであっても原理は同じである。また、観測対象としては海水域を想定したが、これも通常の海域や陸域であっても原理は同じである。マイクロ波ラジオメトリにより海水域を観測する場合、アンテナの受信感度分布の拡がりによる平滑効果のため、海氷のエッジが不鮮明となる。そこで、本研究では地表距離分解能の向上により、海氷エッジの尖鋭化を図った。そして、地表解像度が最も低い周波数帯である6GHz帯において4~5倍程度の高解像度化を図った。正偏波としては垂直偏波を採用した。なお、地表解像度の向上の目安は図3に示すとおりである。

2 理論および方法

3.1 観測シミュレーションによる模擬データの作成

センサーとしては、上述のように、ADEOS-IIのAMSRを想定したが、AMSRの観測データはまだ得られない。そこでまず、解析に供するためのシミュレ-

ションデータを準備する必要がある。

表1は、AMSRの諸元である。AMSRの地上観測幅は、約1700kmである。そこで、この観測幅に収まる観測エリアとして、図4に示すように、1600km×1600kmの海水域を考え、この海域内に東西南北方向にそれぞれ150kmまたは200kmの辺長を有する矩形海氷が存在するものとする。そして、海氷間距離が、東西南北方

表1 ADEOS-II/AMSR の設計パラメーターの性能値
Table 1 Performance value of design parameter of ADEOS-II/AMSR

Design parameter	Performance value
Earth radius	6378.0km
Satellite altitude	802.9km
Period	100.9min.
Orbit inclination angle	98.62deg.
Scan angle	61.0~-61.0deg.
Scan period	1.5sec.
Scan method	Conical scan
Data sampling interval	10km (5 km at higher frequencies)
Integration time	2.6msec.
Off nadir angle	46.582deg.
Frequency	6.952GHz
Polarization	Vertical polarization
Beam width (Azimuth)	1.86deg.
Beam width (Elevation)	1.82deg.
Beam efficiency	0.95

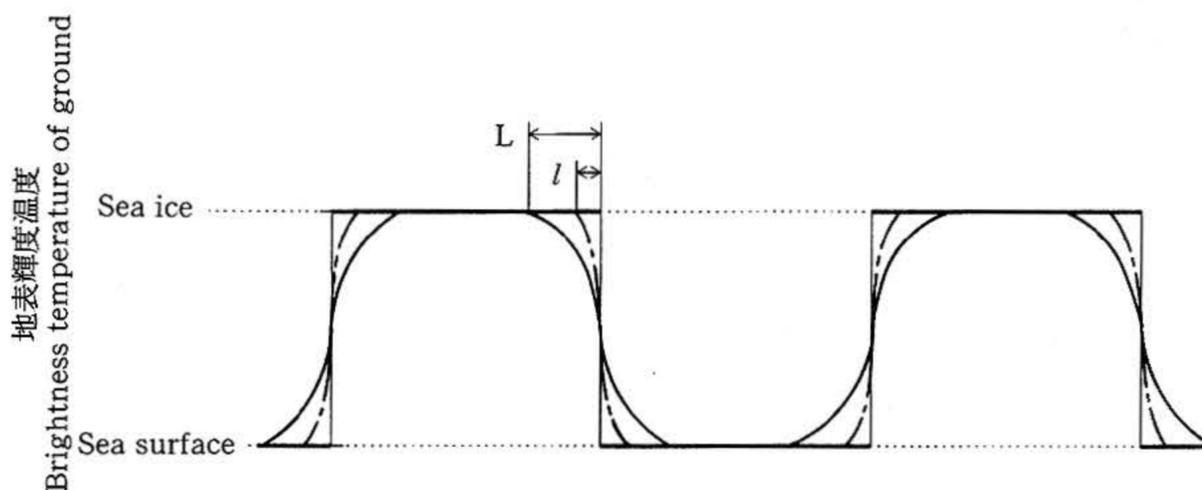


図3 地表解像度の向上の定義

Fig. 3 Definition of improvement of ground resolution.

——; Brightness temperature of ground (sea ice and sea surface)

——; Antenna temperature

----; Ice edge temperature after processing

$$\text{Improvement ratio of ground resolution} = \frac{L}{l}$$

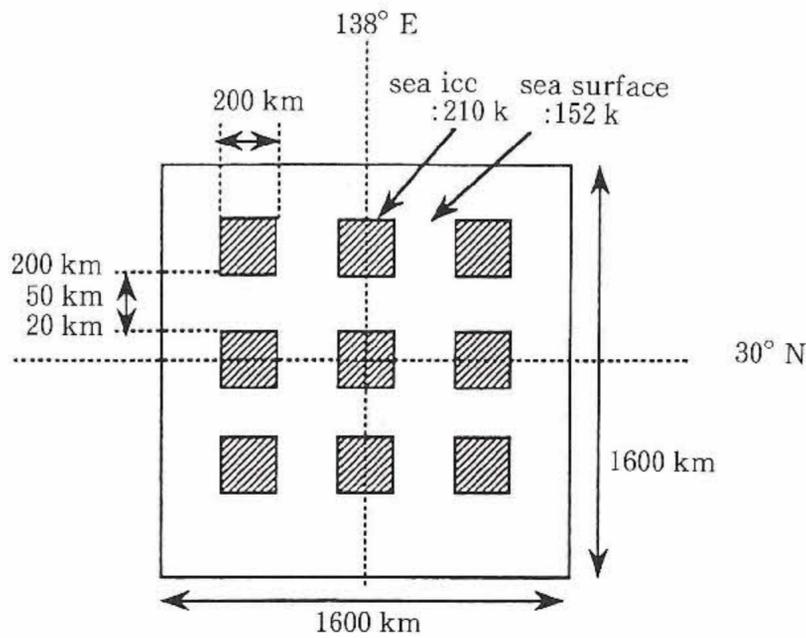


図4 原温度分布画像
Fig. 4 Ground pattern of brightness temperature.

向に、それぞれ150km, 50kmおよび20kmの3とおりの場合を考える。さらに、この1600km×1600kmの観測エリアを、センサーの走査方向および人工衛星の進行方向ともに64分割して、64×64のメッシュとする。一方、AMSRの走査方向の画素数は196ピクセルであり、また、この観測エリアを含む走査線数は136ラインとなる。

次に、64×64個のメッシュに対して、AMSRが観測する輝度温度（アンテナ温度）を与える。海水域を観測するアンテナの輝度温度は(2)式で与えられる。ただし、交叉偏波の寄与は考慮しない。

$$T_B^{\text{ant}}(m, n) =$$

$$\frac{\int_0^{\theta_0} \int_0^{2\pi} g(\theta, \phi) (T_{B_V} \cos^2 \alpha + T_{B_H} \sin^2 \alpha) \sin \theta d\theta d\phi}{\int g(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi} \quad (2)$$

ここで、

$T_B^{\text{ant}}(m, n)$: 地表の観測領域メッシュのmライン, nカラム (m=1~64, n=1~64) 目のピクセルに対応するアンテナ温度

$T_B(\theta, \phi)$: アンテナ視野内 (θ, ϕ) 方向の地表輝度温度

$g(\theta, \phi)$: アンテナ視野内 (θ, ϕ) 方向のアンテナ受信感度

θ : アンテナのメインビーム中心軸から図る角

ϕ : メインビームまわりの角度 (方位角)

α : アンテナ偏波面と地表偏波面とのなす角

V, H : それぞれ垂直偏波, 水平偏波を表す添字

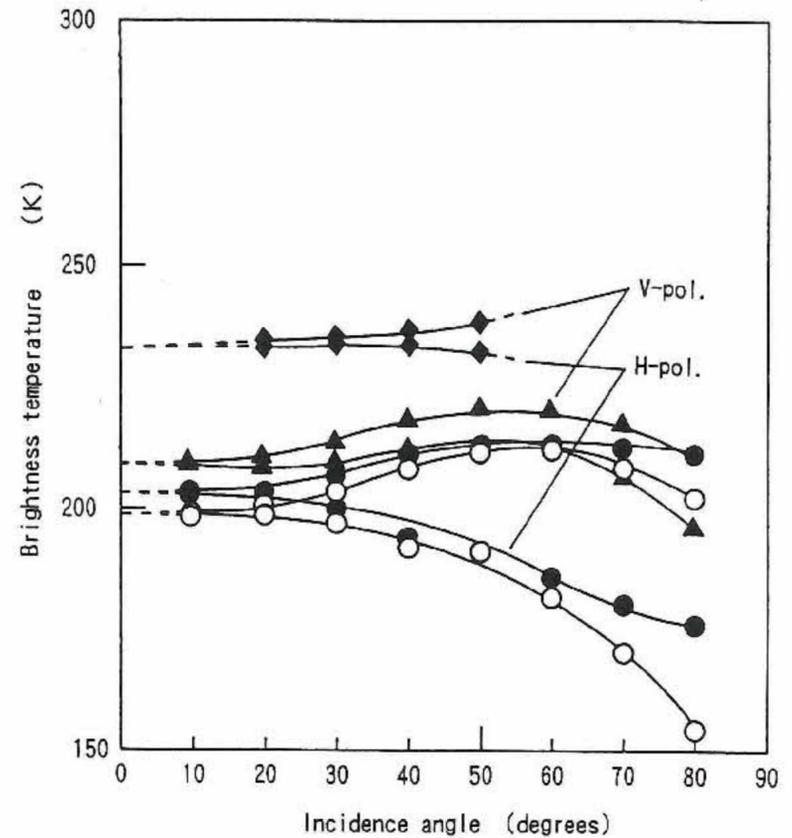


図5 6.7GHzにおける輝度温度の冠雪深度依存性
Fig. 5 Snow depth dependence of brightness temperature at 6.7GHz.

○ : Sea Ice
● : 3.2±0.6cm
▲ : 11.2±1.0cm
◆ : 43.5±5.0cm

である。

なお、地表輝度温度としては、図5に示す輝度温度から、冠雪深度が10cmの場合の輝度温度を与えた。

3.2 逆解法による地表2次元輝度温度分布の推定

3.1において述べたように地表の実際の2次元輝度温度分布を T_B とすると、地表の各メッシュに対応するアンテナ温度の2次元分布 T_A (3.1.の T_B^{ant} に相当する)は、(3)式で表される。

$$T_A = G T_B \quad (3)$$

ここで、 G はアンテナパターン (アンテナの受信感度分布) である。したがって、 G は地表の輝度温度を与える有限領域内の各点が、アンテナ温度に影響を与える度合を表す行列である (実際には、 G も T_B も連続値であるが、ここでは離散ベクトル値とする)。 G は予め既知であるから、観測値 T_A から T_B を推定する方法すなわち、(4)式を解く方法を研究することが本研究における目的である。

$$T_B = G^{-1} T_A \quad (4)$$

ここで、もし G が逆行列 G^{-1} を持つならば(4)式を解くことができる。しかし、一般には G の逆行列は存在しない。

そこで、輝度温度 T_B の推定値を \tilde{T}_B とし(5)式で示され

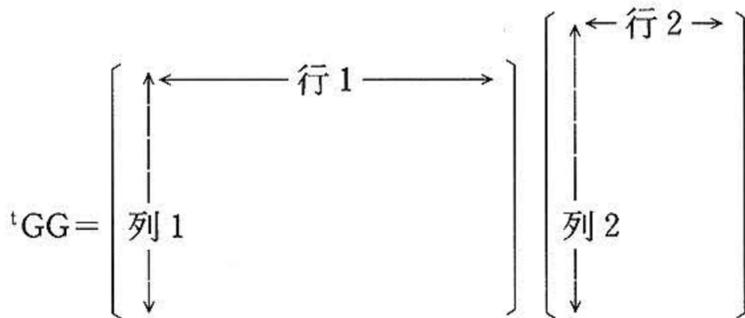
る残差自乗和 $E(T_B)$ を最小とする \tilde{T}_B の推定法を考える。

$$E(T_B) = \|G\tilde{T}_B - T_A\|^2 \quad (5)$$

すなわち、これは(6)式により T_B を推定する方法を考えることと同じである。

$$\tilde{T}_B = ({}^tGG)^{-1} {}^tGT_A \quad (6)$$

ここで、 t は転置行列を表し以下の大きさをもつ。



行 1 : 観測点数 (= スキャン数 × サンプルング数) で、 196×136 行

列 1 : メッシュ数 (= メッシュのピクセル数 × ライン数) で、 64×64 列

行 2 : メッシュ数 (= メッシュのピクセル数 × ライン数) で、 64×64 行

列 2 : 観測点数 (= スキャン数 × サンプルング数) で、 196×136 列

このような線型逆問題の反復型解法としては Kaczmarz のアルゴリズムが提案されている。このアルゴリズムは、最急勾配法の一つで、その微分形によって解を求めるものである。そこで、微分形を求めると(7)式のようになる。まず、(5)式から

$$E(T_B) = (G\tilde{T}_B - T_A) (G\tilde{T}_B - T_A) \\ = {}^t\tilde{T}_B {}^tGG\tilde{T}_B - {}^t\tilde{T}_B {}^tGT_A - {}^tT_A G\tilde{T}_B + {}^tT_A T_A$$

これを \tilde{T}_B で微分すると(7)式となる。

$$\Delta E(T_B) = -{}^tGT_A + {}^tGG\tilde{T}_B \quad (7)$$

そして、(5)式を最小にすることから、(7)式を用いて

$$\tilde{T}_B = ({}^tGG)^{-1} {}^tGT_A \quad (8)$$

となる。ところで、一般に、 $({}^tGG)^{-1}$ も存在しないため、(8)式を(9)式のように置く。

$$\tilde{T}_B = K^+ {}^tGT_A \quad (9)$$

ここで、 $K^+ = ({}^tGG)^{-1}$ は、Moore-Penrose 型一般逆行列である*1。この K^+ は、 64×64 行 64×64 列 (4096行4096列) の巨大行列となるため、これを求めることは現実的ではない。そこで、 K^+ の近似行列として \hat{K}^{-1} を導入する。

ところで、 K とは、その1列が観測領域上の任意の点において、その点のまわりの点拡がり関数 (Point

*1 逆行列は G^{-1} 、一般逆行列は G^- 、Moore-Penrose 型一般逆行列は G^+ で表す。

spreading function)、すなわち、その点における値を1としたときの拡がり具合を示す関数から構成されている。しかし、各点での点拡がり関数は、ある点での点拡がり関数を回転した関数に類似している。そこで、すべての点における点拡がり関数を算出するのではなく、点拡がり関数を1つだけ算出し、これを基本として回転させることにより \hat{K} の近似行列 \hat{K} を求める (アンテナは前進角を持って回転走査をするため、フットプリントは前方にやや長い楕円形となる。例えば6 GHzでは、進行方向に71km、側方に41kmとなる。この楕円は、衛星の直下点を中心として走査線上を回転している)。また、ここで、観測領域上の各点の近傍領域では、点拡がり関数が非常に類似していることから、局所的には定常とみなし、各点まわりでフーリエ変換を用いて逆フィルターを作成する。そして、これらを要素とする行列を \hat{K}^{-1} とする。すなわち、 \hat{K}^{-1} とは、基本点拡がり関数の回転によって得られた点拡がり関数の逆フィルターである。これにより、(9)式は(10)式のようになる。

$$\tilde{T}_B = \hat{K}^{-1} {}^tGT_A \quad (10)$$

なお、最急勾配法における反復計算は、(10)式を用いて(11)式のように表される。

$$\tilde{T}_B^{[k+1]} = \tilde{T}_B^{[k]} + \Lambda \hat{K}^{-1} {}^tG(T_A - G\tilde{T}_B^{[k]}) \\ = (I - \Lambda)\tilde{T}_B^{[k]} + \Lambda(\hat{K}^{-1} {}^tGT_A \\ + (I - \hat{K}^{-1}K)\tilde{T}_B^{[k]}) \quad (11)$$

ここで、 Λ は緩和行列である。

$$0 \leq \Lambda \leq 1$$

また、

$$\hat{K}^{-1} {}^tG(T_A - G\tilde{T}_B^{[k]}) \\ = \hat{K}^{-1} {}^tGT_A - \hat{K}^{-1} {}^tGG\tilde{T}_B^{[k]} \\ = \tilde{T}_B - \tilde{T}_B^{[k]}$$

で、これは、推定されるべき輝度温度と k 回目までの推定輝度温度との差を表す。

なお、(9)式中の K^+ と(10)式中の \hat{K}^{-1} とは多少異なるため、(10)式によって得られる輝度温度の推定値 \tilde{T}_B の分布には、現実の輝度温度としては存在し得ない負の値や、滑らかでない部分などが見られる。そこで、 K^+ と \hat{K}^{-1} との差に起因する不合理性は先験的情報によって補正する。これが以下に述べる凸射影原理 (POCS法; Projection Onto Convex System) である。

ある集合に含まれる任意の要素を結ぶ経路もすべてその集合に含まれるとき、この集合を凸集合という (例えば、円形集合は凸集合を形成しうるが、ドーナツ型集合は凸集合を形成することができない)。そして、先験的情報によって構成される拘束条件の多くは、凸集合を形

成する。凸射影法とは、各凸集合に対して順次射影演算を実施し、より正しい推定値を得る手法をいう。すなわち、先験的情報により得られる解を逐次修正してゆく方法である。

例えば、L個の拘束条件により構成される各凸集合を C_i とし、(12)式が成り立つことが先験的情報として与えられているとすると、

$$f \in C_R = \bigcap_{i=0}^{L-1} C_i \quad (12)$$

(12)式を満たす f を求める方法である。

$$\|f - \tilde{f}\| = \inf_{a \in C_R} \|f - a\| \quad (13)$$

各凸集合 C_i への射影演算子を P_i とすると、その解を求める過程は(14)式で表すことができる。

$$f^{[k+1]} = f^{[k]} + \lambda k (P_{k \bmod L}(f^{[k]}) - f^{[k]}) \quad (14)$$

ここで、 k は反復演算の解字数、 L は凸集合の数、 λ は緩和係数である。

ここでは、上述のように、解析により得られる地表輝度温度は

- (1) 滑らかに分布する
- (2) 非負である

という2つの先験的情報を拘束条件とし、これらの条件を満たしながら、再構成された輝度温度の推定値の自乗誤差 [(5)式で与えられる] が最小となるように反復的修正を加えるものである。

先験的情報(1)は、輝度温度の粗さを示す正定対称行列 S を用いて(15)式で示される。

$$\frac{{}^t\tilde{T}_B S \tilde{T}_B}{\|{}^tGT_A\|} \leq \text{Constant} \quad (15)$$

(15)式の分子は、 S の対角成分から成る行列を S_d とすると、(16)式で表される。

$${}^t\tilde{T}_B S \tilde{T}_B - {}^t\tilde{T}_B (S - S_d) \tilde{T}_B + {}^t\tilde{T}_B S_d \tilde{T}_B \quad (16)$$

そこで、(16)式の両辺を ${}^t\tilde{T}_B$ で微分すると(17)式が得られる。

$$\begin{aligned} (S - S_d) \tilde{T}_B - S_d \tilde{T}_B &= 0 \\ \tilde{T}_B &= S_d^{-1} (S - S_d) \tilde{T}_B \end{aligned} \quad (17)$$

ゆえに、反復修正過程は(18)式で与えられる。

$$\tilde{T}_B^{[k+1]} = (I - \Lambda_1) \tilde{T}_B^{[k]} + \Lambda_1 S_d^{-1} (S - S_d) \tilde{T}_B^{[k]} \quad (18)$$

ここで、 Λ_1 は緩和係数である。

また、先験的情報(2)に基づく凸射影演算は、射影演算子を P とすると(19)式で与えられる。

$$P(\tilde{T}_B) = \begin{cases} \tilde{T}_B : 0 \leq \tilde{T}_B \text{ のとき} \\ 0 : \tilde{T}_B \leq 0 \text{ のとき} \end{cases} \quad (19)$$

そして、反復修正過程は、(20)式で与えられる。

$$\tilde{T}_B^{[k+1]} = (I - \Lambda_2) \tilde{T}_B^{[k]} + \Lambda_2 P(\tilde{T}_B^{[k]}) \quad (20)$$

ここで、 Λ_2 は緩和係数である。

結局、地表の輝度温度分布は、(18)式および(20)式を(11)式の反復修正過程に導入することにより得られる。

4 結果および検討

図6～8は、地表の模擬輝度温度、放射計が観測すると想定されるアンテナ輝度温度の推定値、及び解析により地表解像度を向上させたのちの地表輝度温度の推定値を比較したものである。図6～8では、海水はすべて矩形で200km×200kmの大きさを持ち、間隔は、図6(a)と(b)が東西南北方向ともに20km、図7(a)と(b)が同様に50km、図8(a)と(b)がやはり同様に200kmの場合である。さらに、各図とも(a)は東経138°に沿った方向の1次元輝度温度分布を示したものであり、(b)は北緯38°に沿った方向の1次元輝度温度分布を示したものである。

図6(a),(b)から、氷間距離が20kmの場合、地表輝度温度(海水輝度温度)の地表解像度は経度方向にはかなりよく向上しており、もとのアンテナ温度では海水の輝度温度に達している部分は見られないが、解析後は海水の約70%にわたって真の輝度温度が回復されている。一方、緯度方向では、真の輝度温度が回復されている海水部分は全体の約30%であり、経度方向の回復がより効果的である。すなわち、経度方向の地表解像度がより効果的に高められている。これは、人工衛星がほぼ南北方向に飛行しており、マイクロ波放射計が進行方向に前進角をもって走査しており、進行方向にやや楕円形をしているが、フットプリントの重畳は進行方向よりも走査方向が大きいためである。同様に、図7(a),(b)の氷間距離が50kmの場合および図8(a),(b)の200kmの場合も、地表解像度は経度方向が緯度方向よりも高くなっており、地表解像度の向上は、50kmの場合、経度方向で約3.0倍、緯度方向で約3.2倍、氷間距離が200kmの場合、経度方向で約3.0倍、緯度方向で約1.6倍である。

また、氷間の海水面部分があるが、やはり氷間距離が小さいほど真の輝度温度値と推定輝度温度値の差が大きく、海水面部分の輝度温度が回復可能となるのは経度方向で、氷間距離が50kmであれば、回復可能であることがわかる。

また、図9～10は、それぞれ経度方向と緯度方向の解析結果を同時に示したものであり、図9、10とも、海水の大きさは200km×200kmで、(a)はもとの地表輝度温

度分布, (b) はアンテナが観測した輝度温度分布, (c) は解析後の輝度温度分布を示したものである。図9, 10と

も, (b) 図の比較から, 補正の効果が現れており, (a) の輝度温度分布に近づいている。とくに, 図10では処理

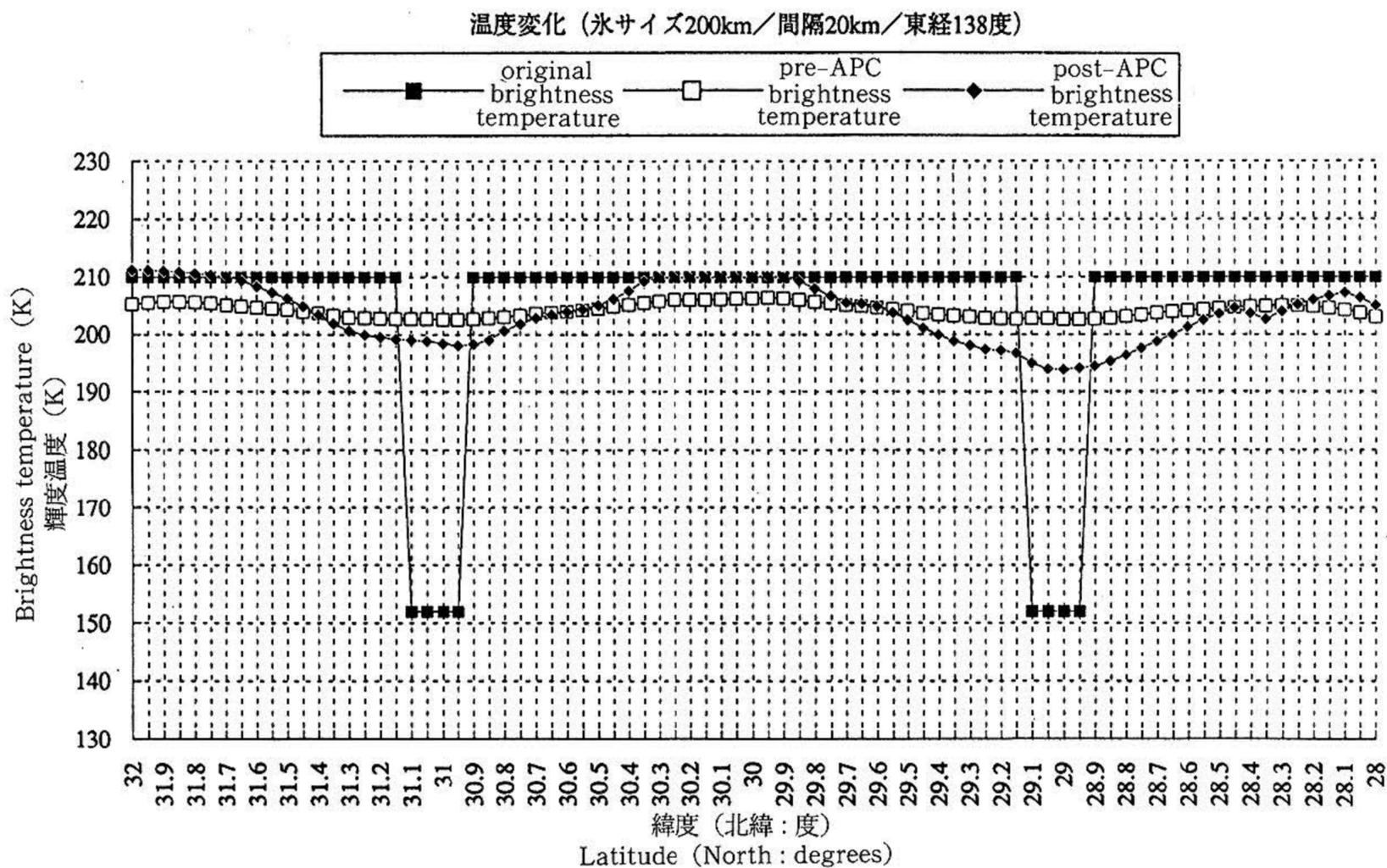


図6(a) アンテナパターン補正前後の輝度温度の比較 (氷サイズ200km・間隔20km・東経138度)
 Fig. 6(a) Comparison of brightness temperature before and after APC. (Ice size 200km, distance 20km, 138°E).

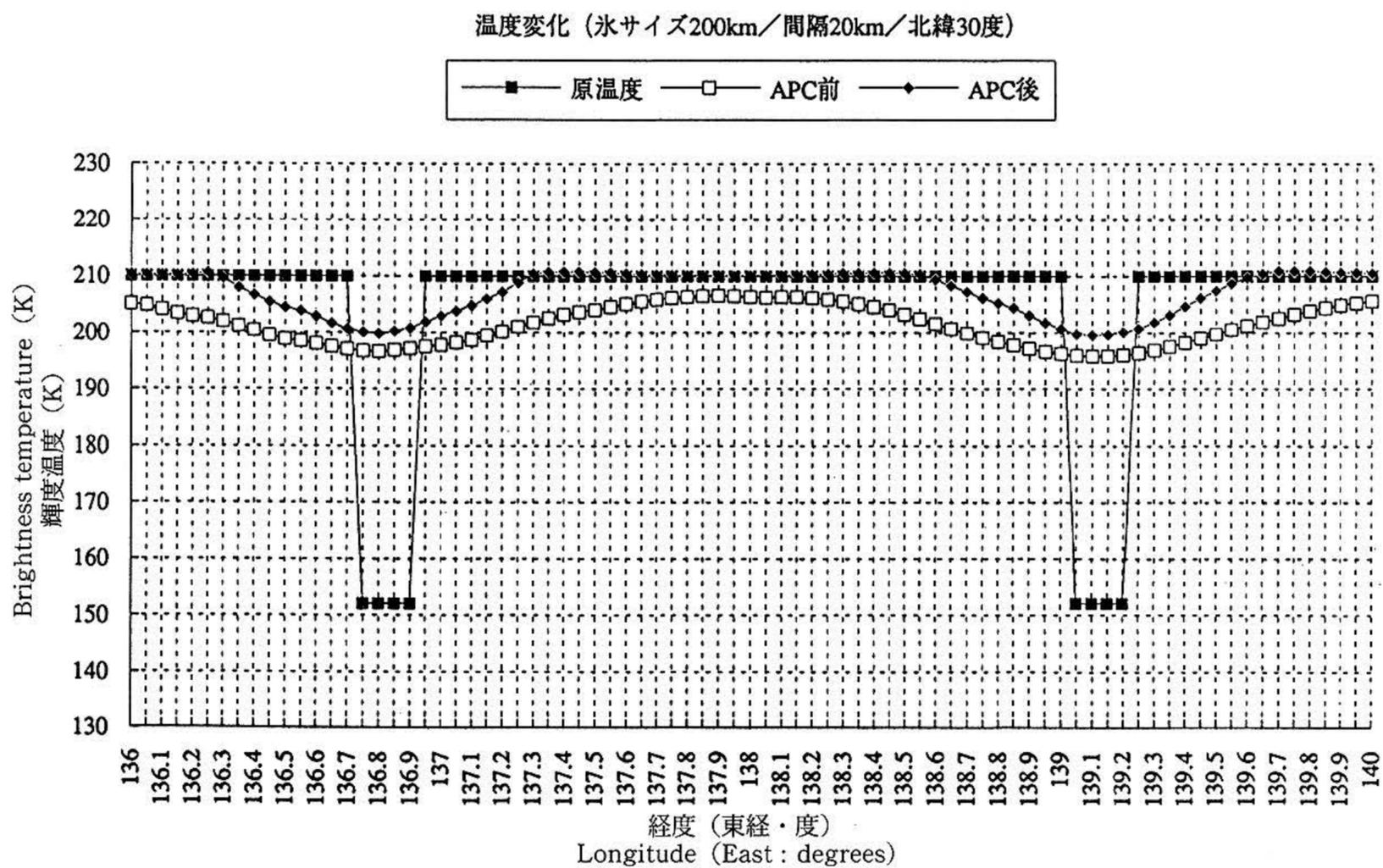


図6(b) アンテナパターン補正前後の輝度温度の比較 (氷サイズ200km・間隔20km・北緯30度)
 Fig. 6(b) Comparison of brightness temperature before and after APC. (Ice size 200km, distance 20km, 30°N)

後の海水の輝度温度分布はほぼ真の輝度温度分布と一致
しており、氷間距離が大きいほど解像度向上のための解

析が効果を上げていることがわかる。また、図9、10
(c) から明らかなように、フットプリントの重畳の大

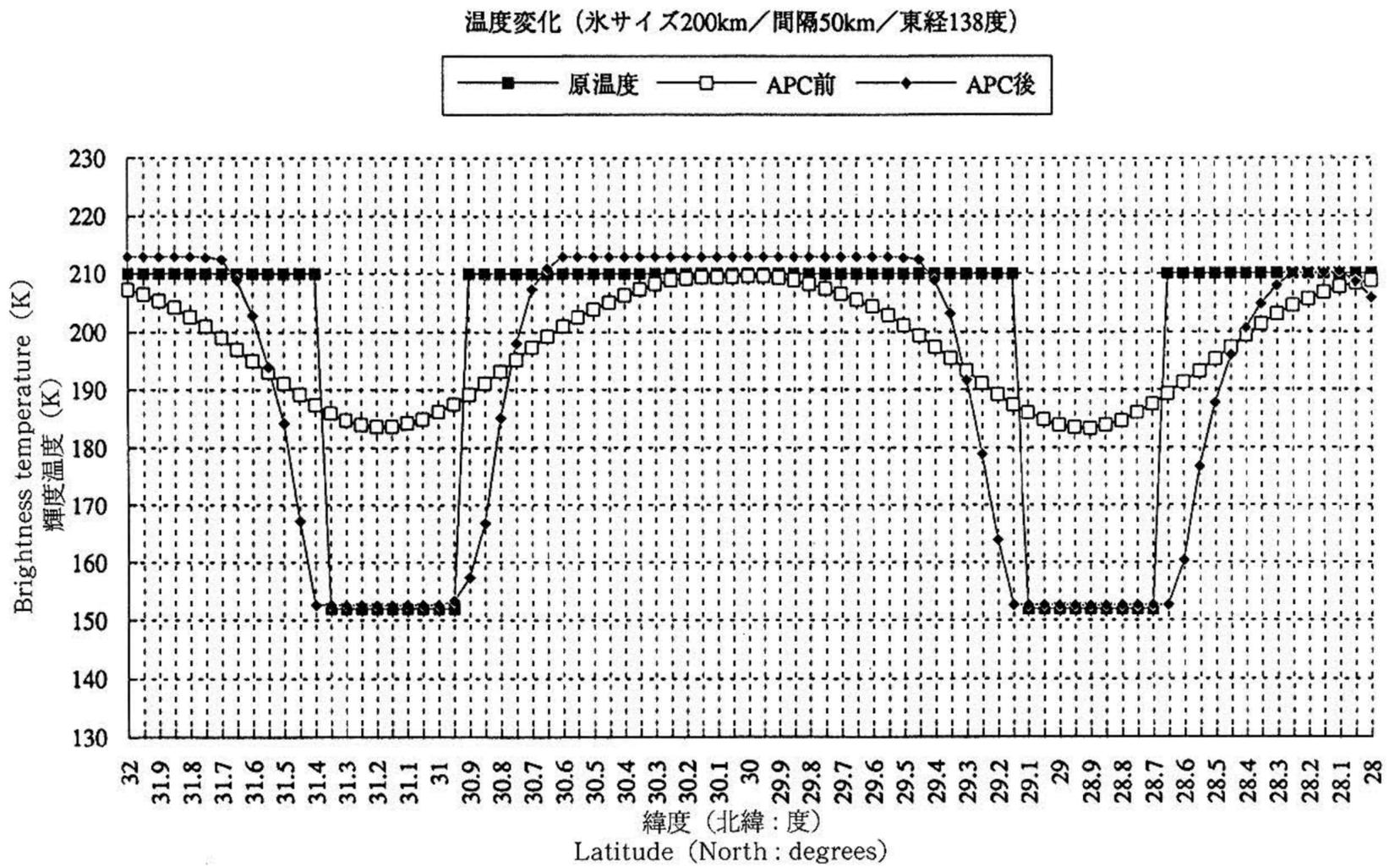


図7(a) アンテナパターン補正前後の輝度温度の比較 (氷サイズ200km・間隔50km・東経138度)
Fig. 7(a) Comparison of brightness temperature before and after APC. (Ice size 200km, distance 50km, 138°E)

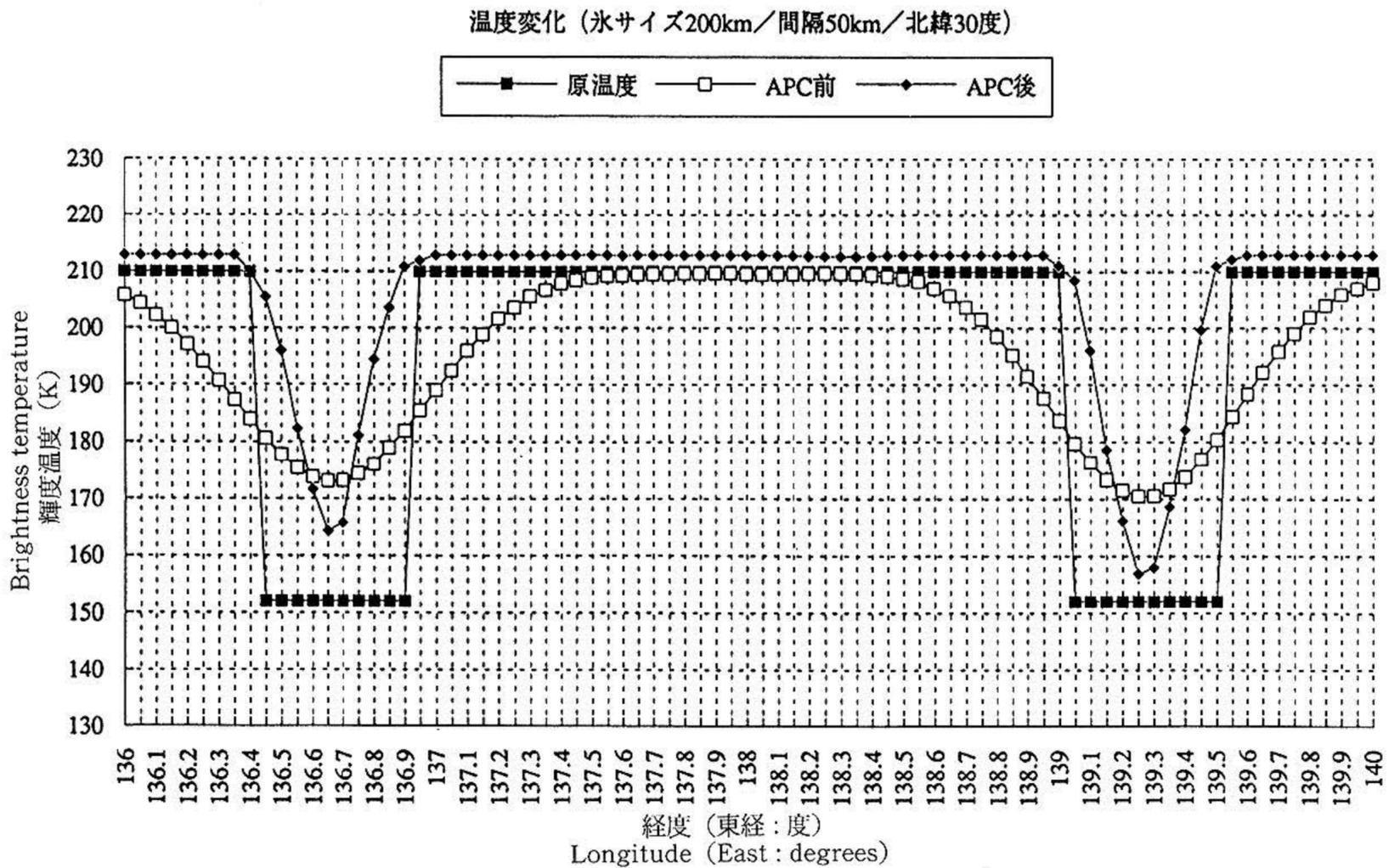


図7(b) アンテナパターン補正前後の輝度温度の比較 (氷サイズ200km・間隔50km・北緯30度)
Fig. 7(b) Comparison of brightness temperature before and after APC. (Ice size 200km, distance 50km, 30°N)

い経度方向に解像度の向上の効果がより効果的に表れて
いる。この効果は、特に図9(c) において顕著で、経度

方向と緯度方向での地表解像度向上の効果の違いは、氷
間距離が小さいほど大きくなることわかる。

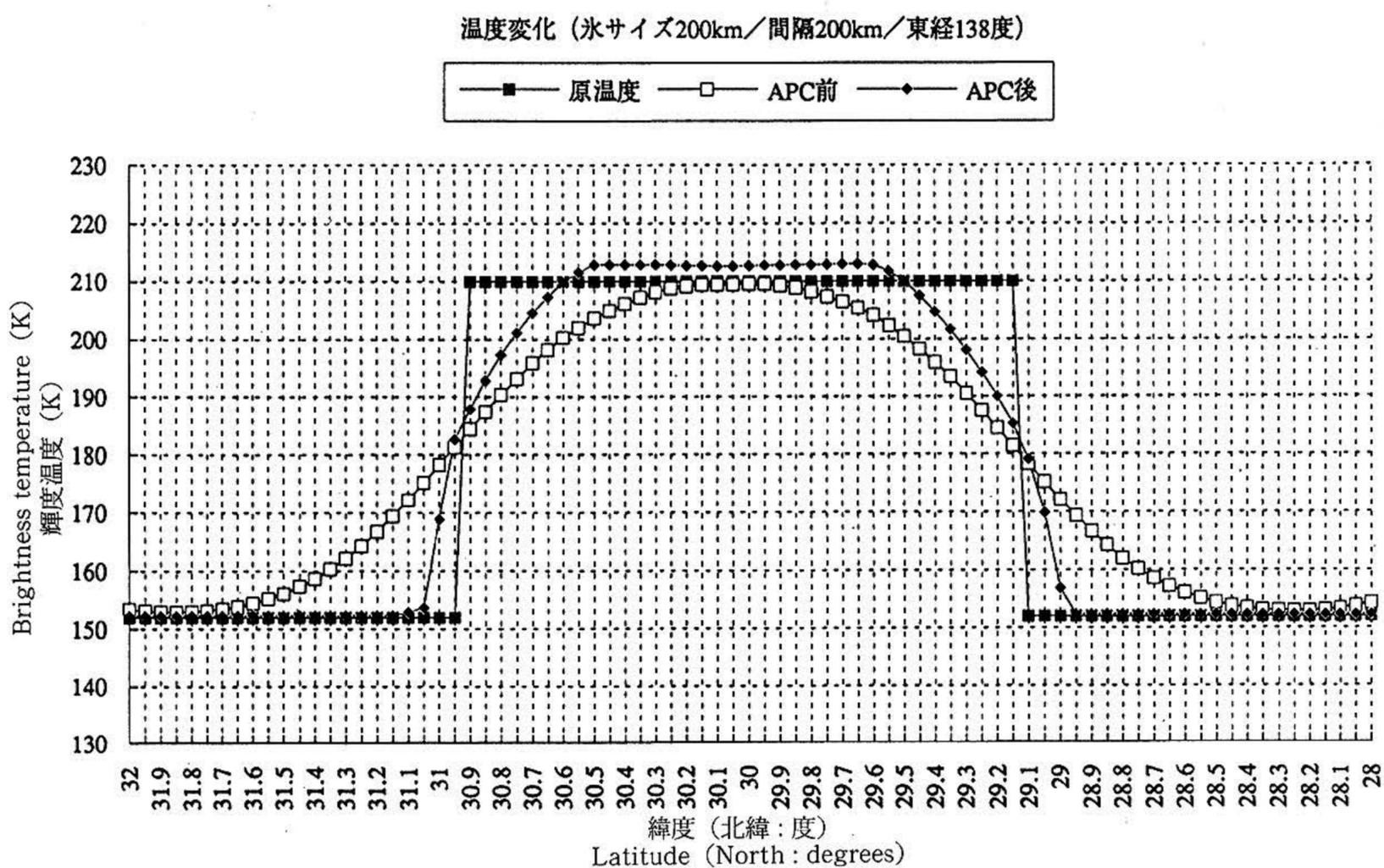


図8(a) アンテナパターン補正前後の輝度温度の比較 (氷サイズ200km・間隔200km・東経138度)

Fig. 8(a) Comparison of brightness temperature before and after APC. (Ice size 200km, distance 200km, 138°E)

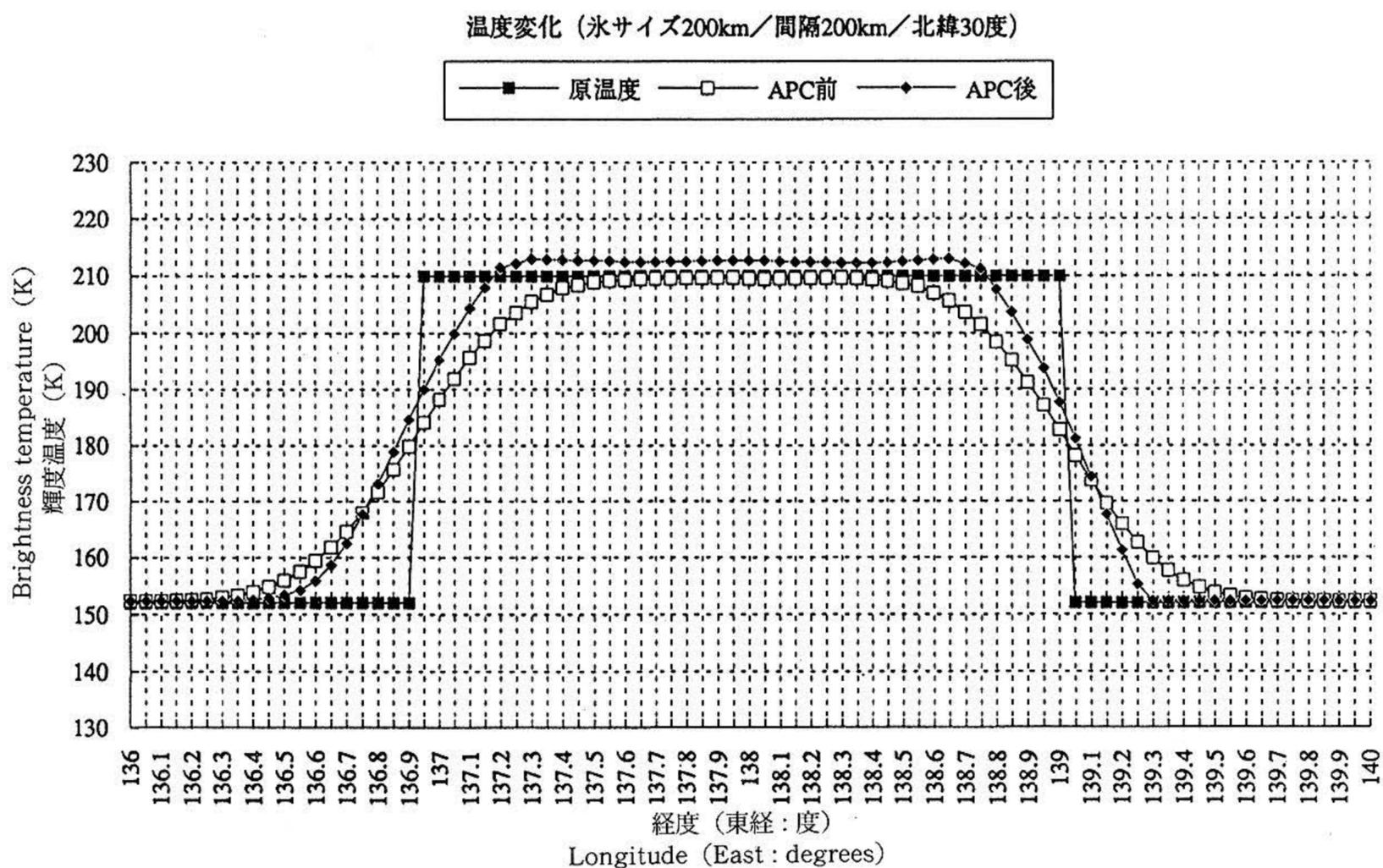


図8(b) アンテナパターン補正前後の輝度温度の比較 (氷サイズ200km・間隔200km・北緯30度)

Fig. 8(b) Comparison of brightness temperature before and after APC. (Ice size 200km, distance 200km, 30°N)

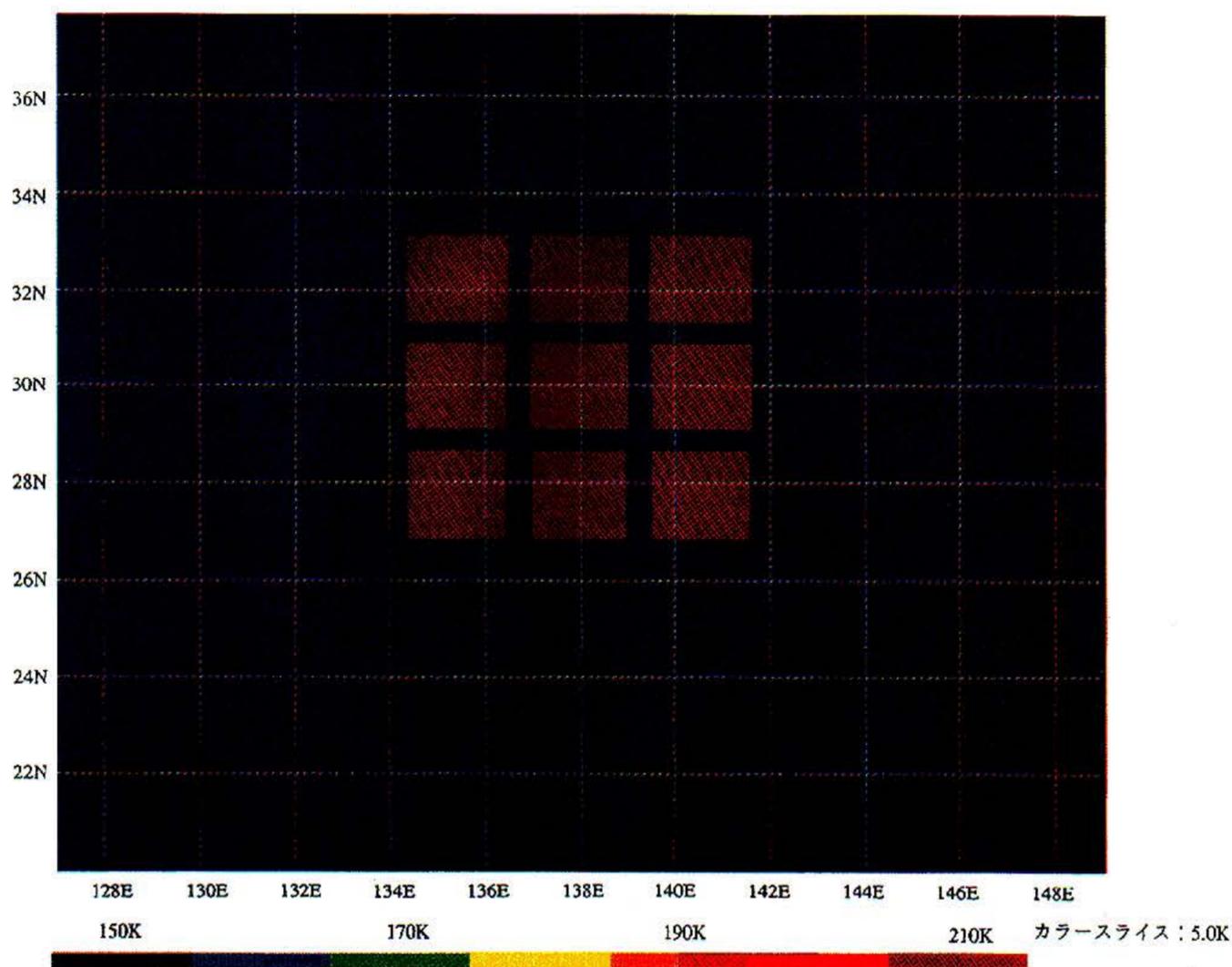


図9(a) 地表（海氷域）の輝度温度分布。氷の大きさは200km×200km，氷間距離は南北方向ともに50km。
 Fig. 9(a) Brightness temperature of ground (ice sea). Ice size : 200km×200km, distance between ice floes : 50km

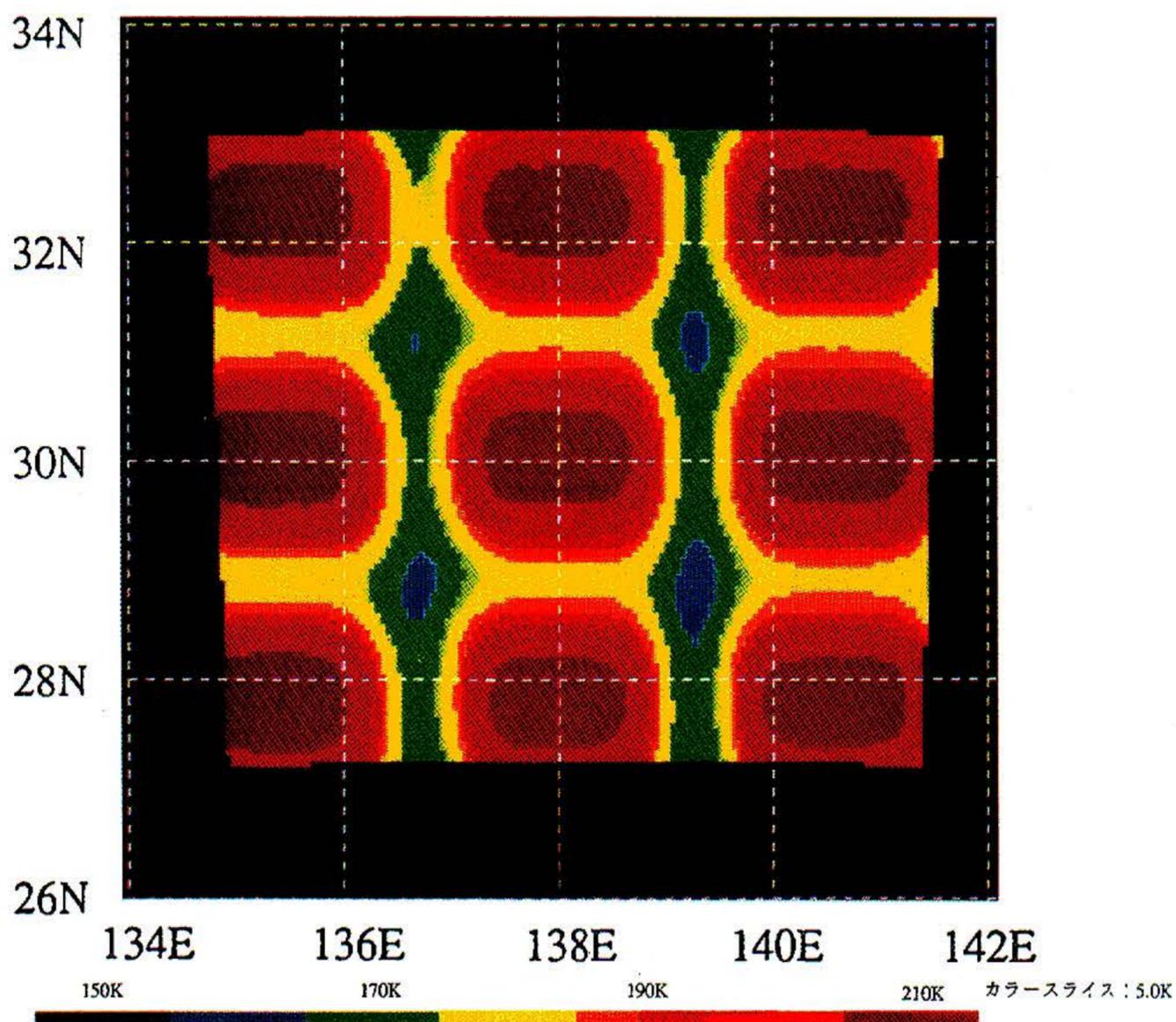


図9(b) 図9(a) から推定されるアンテナ温度
 Fig. 9(b) Antenna temperature estimated from Fig. 9(a).

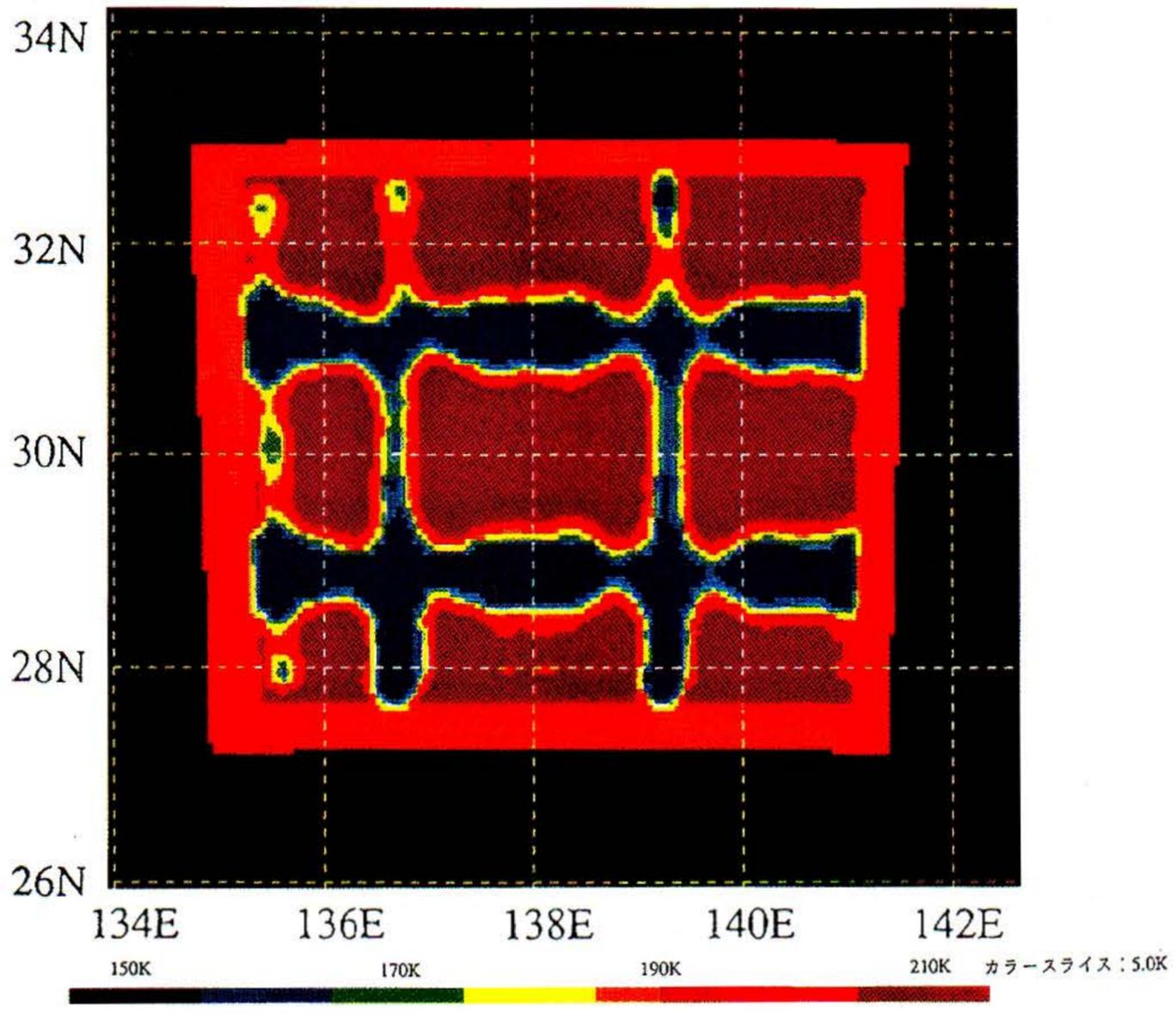


図9(c) 地表解像度の向上のための解析処理後の地表輝度温度分布
 Fig. 9 (c) Brightness temperature of ground after application of analysis for improvement of ground resolution.

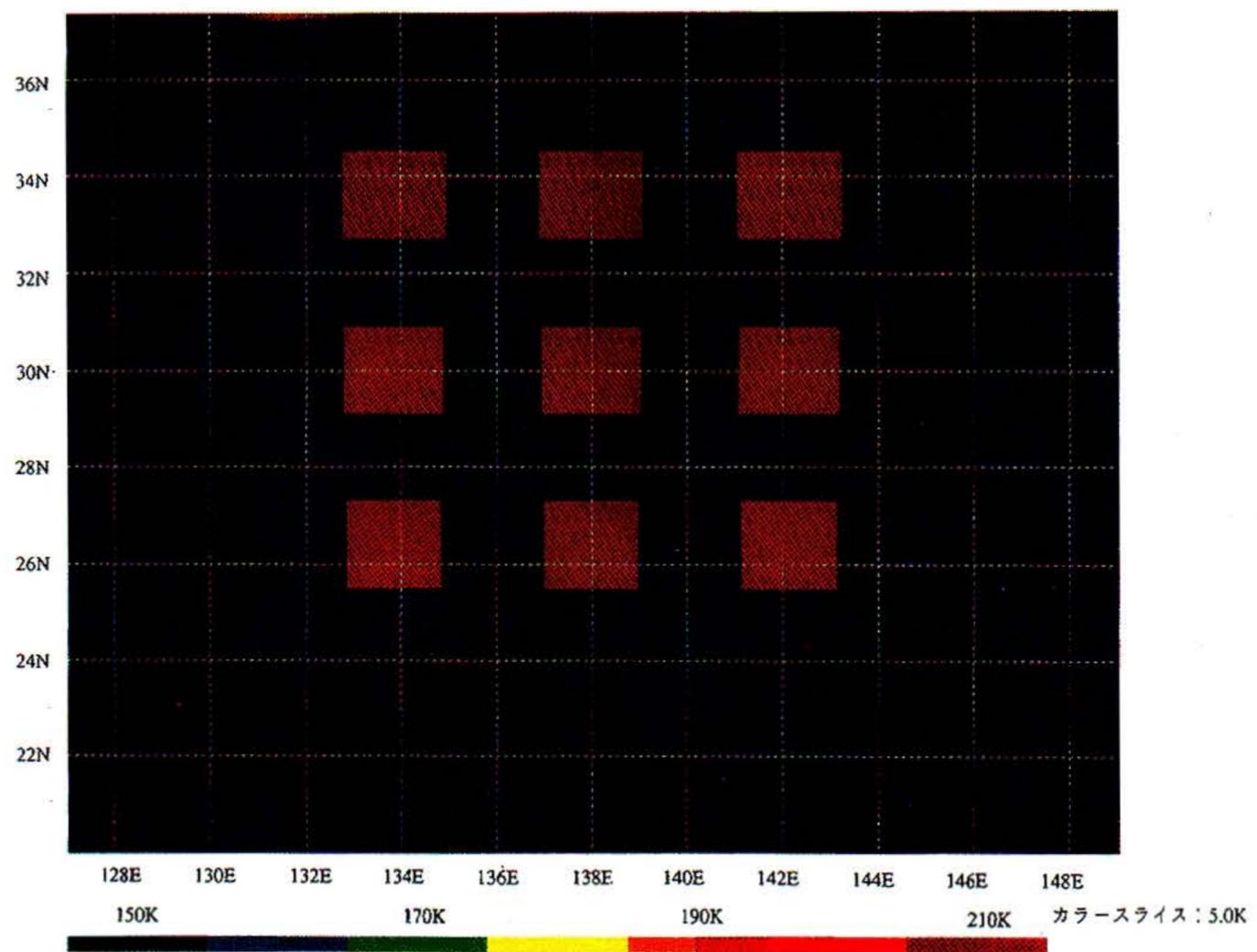


図10(a) 地表（海水域）の輝度温度分布. 氷の大きさは200km×200km, 氷間距離は南北方向ともに200km.
 Fig. 10 (a) Brightness temperature of ground (ice sea). Ice size : 200km, distance between ice floes : 200km.

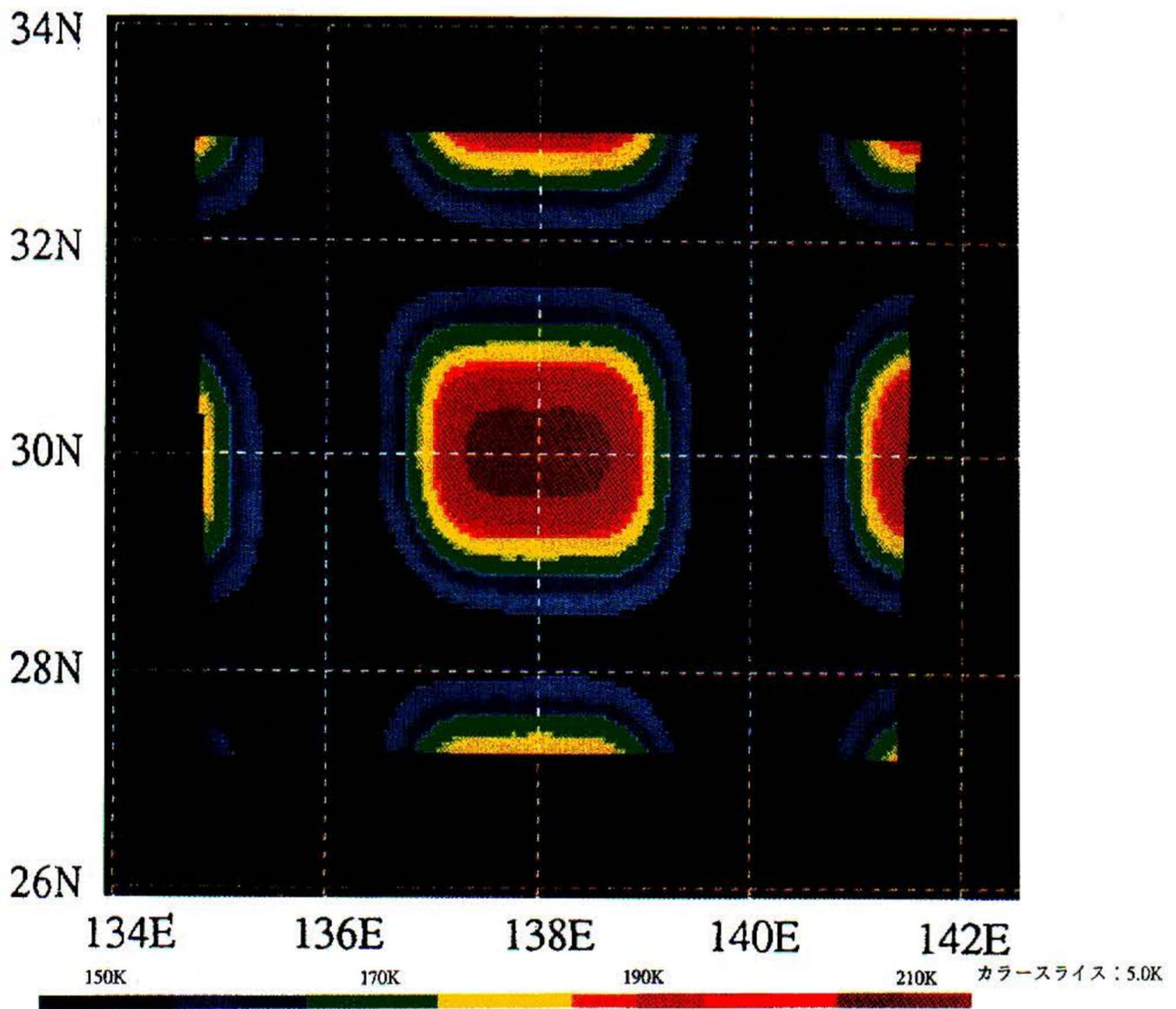


図10 (b) 図10 (a) から推定されるアンテナ温度
 Fig. 10 (b) Antenna temperature estimated from Fig. 10 (a).

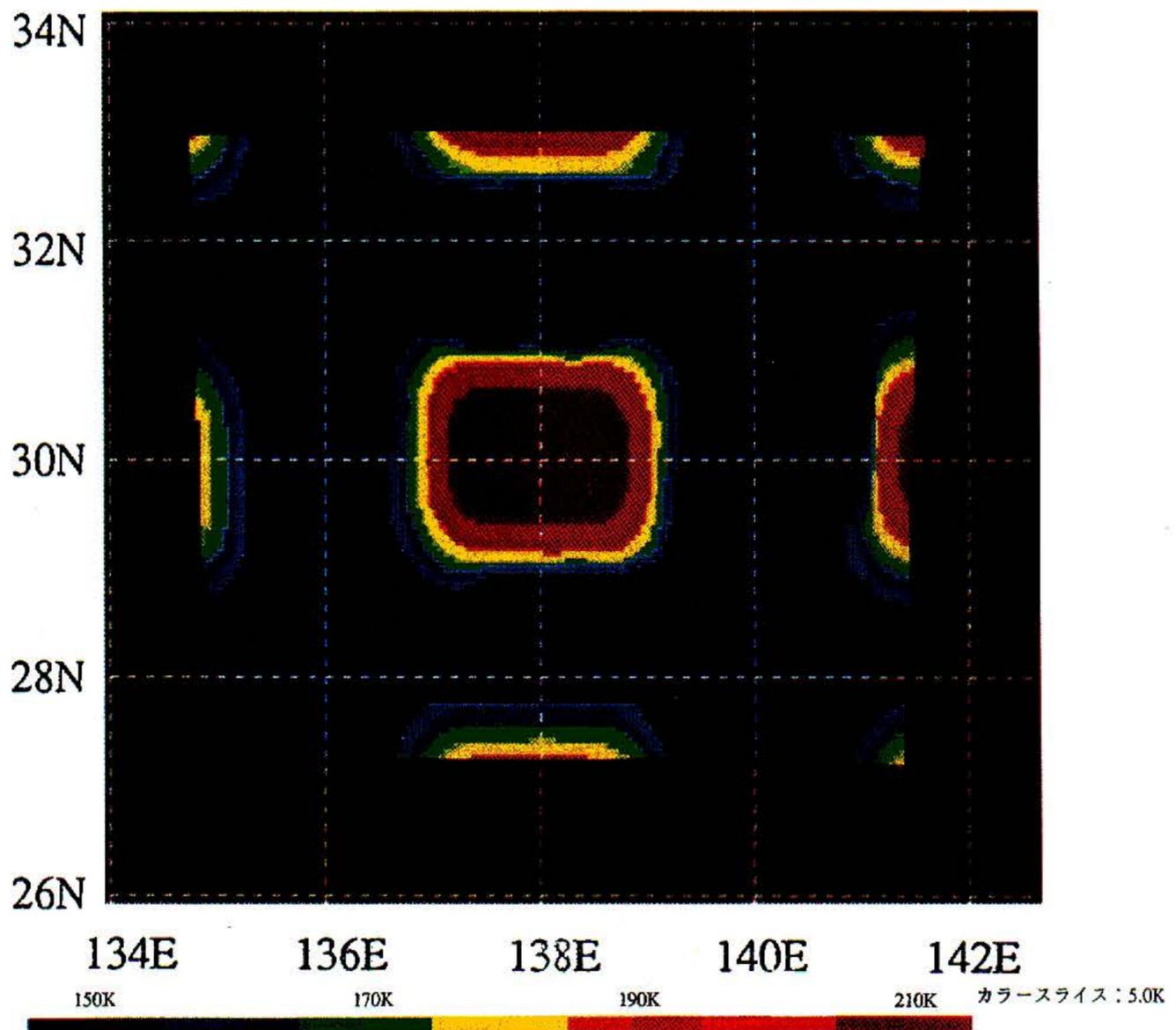


図10 (c) 地表解像度の向上のための解析処理後の地表輝度温度分布
 Fig. 10 (c) Brightness temperature of ground after application of analysis for improvement of ground resolution.

以上から、本法による海水域の輝度温度の推定のための地表解像度の向上には、海水間隔と、フットプリントの重畳度が影響し、間隔が大きいほど、またフットプリントの重畳が大きい程、海水エッジの解像度の向上が可能となることが改めて確認された。

5 おわりに

本研究は、解析シミュレーションであり、海水の形状、大きさ、表面輝度温度分布、その他の基本的条件が単純化してある。しかし、実際の氷海ではこれらは不規則であり、解析および結果の解釈にはさらに先見的情報が必要となる。

また、本報告では周波数として、フットプリントが最も大きい6 GHz帯を選んだ。方法としてはすべての周波数に対して当てはまるため、他の周波数帯についても実施する予定である。また、現在宇宙開発事業団で開発中の航空機搭載型マイクロ波放射計は、非走査型であるため、得られるデータは人工衛星データとは異なるが、進行方向には低周波数帯でフットプリントの重畳があるため、同様の方法が当てはまる。そして、本年度よりこのセンサーが観測に供される予定であり、その観測データの解析も行いたいと考えている。本方法により、マイクロ波ラジオメトリの欠点である地表解像度の低さが解消されれば、マイクロ波ラジオメトリの一層の活用が期待されるが、上に述べた不規則性のため、この解析法が

十分に活用できるまでには相当の時間がかかるものと予想される。

参考文献

- 1) 海洋科学技術センター, 平成5年度「衛星搭載マイクロ波放射計用解析ソフトウェア成果報告書」, 平成6年3月
- 2) 海洋科学技術センター, 平成5年度「航空機搭載マイクロ波放射計用解析ソフトウェア成果報告書」, 平成6年3月
- 3) 海洋科学技術センター, 平成6年度「衛星搭載マイクロ波放射計用解析ソフトウェア成果報告書」, 平成7年3月
- 4) 海洋科学技術センター, 平成6年度「航空機搭載マイクロ波放射計用解析ソフトウェア成果報告書」, 平成7年3月
- 5) Ulaby, F.T., R.K. Moore, and A.K. Fung, Microwave Remote Sensing, active and passive, vol. I, Microwave Remote Sensing Fundamentals and Radiometry, Addison-Wesley, pp.191-208, (1981).
- 6) Rao, C.R., S.K. Mitra, Generalized Inverse of Matrices and its Applications, John Wiley & Sons, (1971).

(原稿受理: 1995年5月8日)