世界測地系移行のための座標変換ソフトウェア“TKY2JGD”

Coordinate transformation software “TKY2JGD” from Tokyo Datum to a geocentric reference system, Japanese Geodetic Datum 2000

地理地殻活動研究センター　　飛田幹男
Geography and Crustal Dynamics Research Center　Mikio TOBITA

要　旨

世界測地系へのスムーズな移行を支援し，移行にかかる総コストを削減するツールとして，TKY2JGDを開発した。TKY2JGDは，20世紀に日本国内で使用された「日本測地系：ベッセル楕円体」に準拠した座標値を，21世紀に使用される世界測地系「日本測地系2000(＝ITRF94系)：GRS80楕円体」の座標値に座標変換するソフトウェアである。グリッド化処理において，楕円体投影部分の滑らかな変化成分を含めず，純粋な歪み成分のみを推定するアルゴリズムを新規に開発し，変換パラメータの推定精度を向上させるとともに，数値地図（ジオイドモデルおよび50m間隔標高データ）を最大限に利用して，変換精度（内部精度：1.4cm）と利便性の両立を図った。TKY2JGDは，三角点成果（測量法改正前）不整合地域では適用が難しいが，このように注意を要する地域を抽出するための指標「勾配二乗和根」を作り，地図として示した。

1．はじめに

日本測地系（ベッセル楕円体）に準拠した情報には，三角点等の基準点座標値，地図・海図，電子地図，地物・標識等の座標値，各種台帳の座標値等，色々なものがある。これら「座標に関連した情報」を世界測地系に準拠した情報に置き換える方法には，再測量，既存測量データの再計算，座標変換等がある。これらの中で，座標変換は，最も低精度ながら最も安価・高速であることから多くの分野での利用が予想される。座標変換の精度が高いほど，適用範囲が広がり，世界測地系移行に要する総費用が節約できることになるため，従来にない高精度な座標変換アルゴリズムの開発を目指した。

本論では，「地域毎の多数の座標変換パラメータを使用した変換」および「3パラメータによる幾何学的な座標変換」を実現するソフトウェア“TKY2JGD”の開発を中心に議論を展開する。

世界測地系という用語は，通称および法律で使用される用語である。この場合の世界測地系は，「平成14年に改正される測量法で日本が新たに採用する世界測地系」のことであり，本論のように，座標系について専門的な議論を行う場合には，どの世界測地系かを特定する必要がある。本論での“世界測地系”は，何種類もある世界測地系の中の「ITRF94座標系」を日本に実現した「日本測地系2000」を指している。また，この日本測地系2000と共に使用させる準拠楕円体は，GRS80楕円体である。

2．座標変換のアルゴリズム

2．1　3パラメータによる変換

ある点の場所を表すには，ものさしをあててその点の目盛を読めばよい。しかし，ものさしのあて方（座標系）が異なると，座標値は異なった値として表現される。

もし，同じ目盛のついた２本のものさしをお互いに平行になるようにあてたとし，神様が正しく目盛を読むものとすれば，２つのものさしで読んだ２つの座標値の差は，すべての点について一定になる。この値（２つの座標値の差）が座標変換パラメータの最も基本的なものである。

三次元直交座標系においては，X，Y，Zの３つの方向にものさしがあるため，座標変換パラメータも３つ（T1，　T2，　T3）が存在する。

（X，Y，Z）から（XS，YS，ZS）への座標変換式は，

$$\begin{pmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{pmatrix} \qquad (1)$$

で与えられる。同様に幾何学的な座標変換を行う方法には，X軸，Y軸，Z軸回りの回転R1, R2, R3およびスケールファクタDを採用した７つの変換パラメータによる座標変換もある｛（10）式｝。「3パラメータによる変換より７パラメータによる変換が良い」と誤解している人も少なくないが，そう単純ではない。詳細は，飛田(2002)を参照されたい。

3または7パラメータによる座標変換は，すっきりした行列式で表されるため，コンピュータ・プログラミングの観点からは，非常に扱いやすい（例：“trns96”）。

しかし，「測量器械，測量方法，計算方法に誤差がない」かつ「位置は移動しない」という前提があるため，日本測地系を構成する三角点や地図を世界測地系に移行する目的には適さない。

このような幾何学的な座標変換が活躍するのは，たとえば固い（誤差の少ない）測地網の場合である。一，二，三等三角点の世界測地系における新しい基準点成果は，最初にベッセル楕円体上に固い三角網（polyhedron）として構築され，3パラメータを用いた座標変換によって，三角点間の位置関係を全く崩すことなく世界測地系に座標変換された。

3または7パラメータによる幾何学的座標変換は，座標変換の専門家にとっては不可欠である一方，三次元直交座標系の知識が必須とされるため，一般にはなじみが薄いのが欠点とも言える。

2．2　地域毎の変換パラメータによる変換

ものさしで座標値を読む話に戻る。現実の世界では，目盛は人間が読むので，目盛を読む人・読み方（測量方法）によって座標値は変わる。目盛（測量器械）も変わる。また，何人かがそれぞれ複数回目盛を読んでその平均値をとる場合は，各人それぞれのばらつきに応じて重みを付ける等，「計算方法」によって座標値は変わる。つまり，測量器械・測量方法・計算方法によって座標値は異なる（測量誤差）。

ある位置が時間的に一定の場所にない（地殻変動）場合には，当然座標値は異なる。

以上のような原因によって，測量法改正前の測量成果には，北海道で約９m，山陰地方で約５m，九州で約４mの誤差がある（Tobita, 1994a）。また，離島によっては，200mを超える座標値の修正が必要になっていた。

このような場合には，もちろん，3または7パラメータによる幾何学的座標変換は適用できない。適用してもかまわないが，離島によっては200mを超える誤差が生じてしまうことを理解し，受け入れる必要がある。

このように地域毎に異なる修正量を考慮して，できるだけ精度の高い座標変換をするにはどうしたら良いだろうか？まず，座標変換パラメータ（T1, T2, T3）を地域毎に設定するのが良いように思える。Tobita (1994a)は，日本測地系からWGS－84系（オリジナル版）への座標変換パラメータ（T1, T2, T3）を47の地域毎に算出し，表として掲載した。

TKY2JGDの開発にあたり，一歩進んで，「せっかく地域毎にパラメータを設定するなら，BLH（緯度，経度，楕円体高）で座標変換が行える（dB, dL, dH）にしてしまったらどうか」と考えた。誤差や時間変化のない理想的な座標値は，わずか3つの変換パラメータで誤差なく変換可能であることは前節で紹介したが，変換パラメータが（dB, dL, dH）で表現される場合は，楕円体のふくらみが異なること等により，（dB, dL, dH）＝(B2－B1, L2－L1, H2－H1)が滑らかに地域毎に変わる。地域毎の変換パラメータを使えば，これら２つの成分（地域毎の修正量と滑らかな変化成分）を両方とも吸収でき，一石二鳥となる。

地域毎の（T1, T2, T3）を設定すると，（三次元直交座標系の知識と地域毎の多数のパラメータ）という二重の負担をユーザに課すことになる一方，地域毎の（dB, dL, dH）は，その片方（三次元直交座標系の知識）を課さないため，よりユーザに優しい変換方法と考えられる。多数のパラメータを使うことに関しては，高精度変換を目標にした場合，いたしかたない。

さて，ここで第三のパラメータdHについて，整理しておく必要がある。

TKY2WGS（Tobita, 1994b；飛田，1994）において，dHは標高H1をWGS－84系の楕円体高H2に変換するために加える量であった。その座標変換式は，

$$\begin{pmatrix} B2 \\ L2 \\ H2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B1 \\ L1 \\ H1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dB \\ dL \\ dH \end{pmatrix} \qquad (2)$$

である。ここで，B1，L1は日本測地系の緯度，経度，B2，L2はWGS84系の緯度，経度である。また，H1は標高で，H2はWGS84系の楕円体高である。このように変換前後で異なる高さを採用したのには理由がある。TKY2WGS開発の目的は，日本測地系(Tokyo Datum)の座標値をWGS84系に変換することでも，その逆方向の変換を行うことでもない。目的は，「GPS干渉測位における基線解析に必要な三角点（既知点，固定点）の座標値を（成果表から）求めること」である。

GPS干渉測位では，基線解析に使用する固定点の座標値が間違っていると，それに比例して，間違った基線ベクトルが測定されるという性質がある（飛田，1994）。固定点の座標値はWGS84系：WGS84楕円体に準拠した緯度，経度，楕円体高が要求された（当時）。

一方，三角点の座標値は，測量法に基づいて日本測地系：ベッセル楕円体に準拠した緯度，経度，標高が与えられている。このままでは，日本でGPSを使った測量が行えない状態であった。

解決法として，つくば等で決定した座標変換パラメータを使って算出する方法も検討されたが，２つの問題があった。ひとつは，つくば等で決定した座標変換パラメータをつくば以外で使用すると，北海道で約９m，離島によっては200mを超える誤差が出て，結局GPSの基線解析に使用できないこと。ふたつめは，つくばで決定された座標変換パラメータを利用するには日本測地系の楕円体高が必要であったことである。

これら２つの問題のために，もっと良い方法を検討する必要を迫られ，結局，地域毎に異なる変換パラメータdB, dLを設定すると同時に，標高から楕円体高を計算するためのジオイド高モデルを内蔵することによりdHを計算できるTKY2WGSを開発した。

dHは，ジオイド高のようにも思えるが厳密には違う。ジオイド高は，ある緯度，経度におけるジオイド高を意

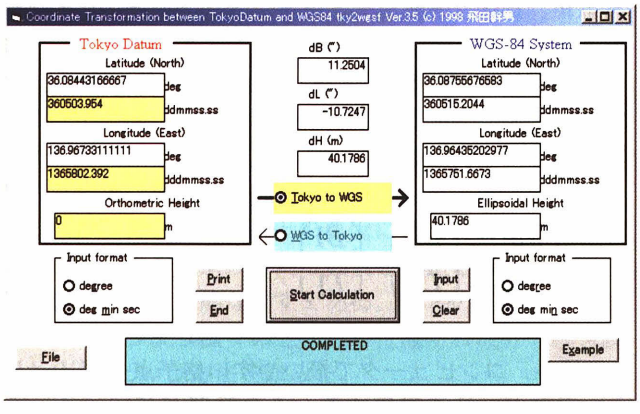
味する。ただし，その緯度，経度が準拠する座標系：楕円体とジオイド高が準拠する座標系：楕円体は一致させる。しかし，TKY2WGSにおいては，前者が［日本測地系：ベッセル楕円体］，後者が［WGS84座標系：WGS84楕円体］と異なっているため，ジオイド高そのものではないことを確認しておく。

TKY2WGSは，GPS干渉測位の基線解析時に使用する固定点の［WGS84座標系：WGS84楕円体］に準拠した緯度，経度，楕円体高を，三角点の成果から，精度約1m以内の精度で求めることにより，日本国内でGPSを用いた測量を可能にしたのである。最初のバージョン（Ver. 2. 3）では，変換パラメータ作成用に西の天文ジオイド（西，1981）を用いたが，Ver. 3. 5においては，日本のジオイド96（黒田他，1997；Fukuda et al. , 1997）を用いた。

3．TKY2JGDの開発

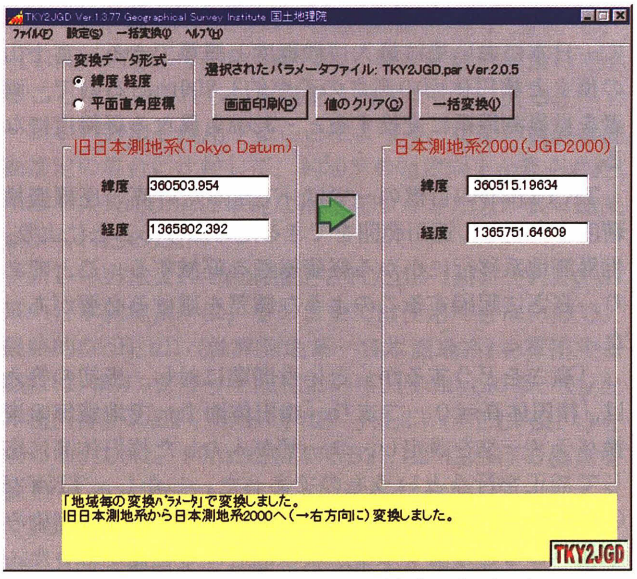
TKY2JGDも地域毎の座標変換パラメータを用いた座標変換を行うという点で，TKY2WGSと同様のものといえるが，次の点で，異なっている。

(1)目的が違う。TKY2JGDは，日本測地系に準拠した座標値自体を世界測地系に移行するために開発された。(2)変換元の［座標系：楕円体］は同じだが，変換先は違う。TKY2JGDは，ITRF94系である。(3)地域毎の変換パラメータの格子点間隔が，0. 1°×0. 1°から30”×45”と細かくなった。(4)変換精度が違う。TKY2WGSの標準偏差は約14cmであったが，TKY2JGDでは約1. 2cmと高精度となった。(5)高さの変換を行わないようにした。(6)格子点上の変換パラメータを求めるグリッド化処理の際，同一座標系で計算を行うことにより高精度化した。(7)平面直角座標値(X, Y)も扱えるようガウスクリューゲル投影計算を搭載した。GRS80楕円体対応。21世紀の高精度測量に対応。(8)TKY2WGSは離島，岬を変換できなかったが，TKY2JGDは陸（離島，岬を含む）を99. 9%（面積）以上カバー。他。



図－1　TKY2WGSF（Ver. 3. 5）のメイン画面

図－1は，TKY2WGSFのメイン画面であり，一方，図－2はTKY2JGDのメイン画面である。変換先の座標系や変換の精度が異なる他，高さの入出力が図－1にしかない。このような違いは，開発の目的の違いに起因している。

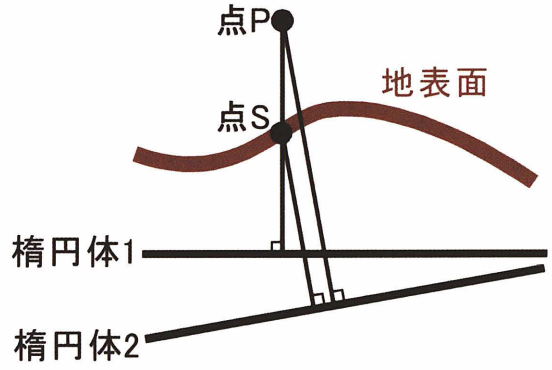


図－2　TKY2JGDのメイン画面。緯度・経度データの変換の場合

3．1　TKY2JGDにおける「高さ」のとりあつかい

上述した相違点(5)については解説を要する。通常，楕円体高を指定しないで座標変換を行うことはできないからである。

ある緯度，経度をもつ地点があるとき，その緯度，経度と同じ座標値をもつのは，その地点を通る鉛直線上の点である。鉛直線は，もちろんその緯度，経度が準拠する準拠楕円体に対する鉛直線である。さて，その鉛直線上の点が，異なる準拠楕円体において，ひとつの緯度，経度に対応するかと言えばそうではない。



図－3　楕円体高と座標変換

図－3に示したように，楕円体1上で同一の緯度，経度をもつ点Sと点Pは，楕円体2では，異なる緯度，経度を持つことになる。つまり，「日本測地系の北緯～°，

東経～°は，世界測地系では北緯～°，東経～°に対応する」とは言えないのである。楕円体高を指定して初めて，どの座標に対応するかが決まるのだ。

このような差異が生じる原因は２つの楕円体面が平行でないためであるが，両平面のなす角（＝両鉛直線のなす角）はいくらだろうか？それは，緯度差，経度差であって，日本においては最大17秒程度と概算できる。富士山の頂上と楕円体面の高さの差が約3,800mあるので，両者を世界測地系に変換すると，32cmも異なる経緯度になる。

TKY2JGDの目標の一つは,「できるだけ高い座標変換精度を実現し，適用範囲をできるだけ広げることにより，世界測地系移行にかかる経費総額を軽減する」ことであり，高さに起因するこのような誤差を避ける必要があった。

「高さをどうするか」という問題に対し，当初の答えは,「楕円体高＝０」つまり「楕円体面上」で地域毎の変換パラメータを設定し，ユーザが入力した楕円体高に応じて補正を行うというものであった。しかし，TKY2JGDのユーザの多くが「楕円体高」という言葉に馴染みがないことを考慮すると，これは避ける必要があった。また，多くのユーザが，高さなしでの座標変換を要求していることも考慮すると，なんとしても,「高さを考慮した正しい変換を実現しながら，ユーザに高さを求めない画期的な方法」を考案しなければならなかった。

このような状況で考案されたのが，ジオイドモデルとDEM（Digital Elevation Model）を用いる方法である。「TKY2JGDのユーザの多くは，地上の地物（基準点を含む）の座標値を変換する」ことに目をつけた。つまり，事実上変換される多くの楕円体高とは，準拠楕円体から地表までの高さである。すなわち，日本全国をカバーする楕円体高のデータがあればよいのである。現実には，楕円体高そのものはないが，

楕円体高＝標高＋ジオイド高　　（3）

の関係式があるので，50mDEM（数値地図50mメッシュ（標高））から標高を，さらに，ジオイドモデルからジオイド高を参照して，両者を加えれば良いことになる。幸いなことに，2000年4月に国土地理院の50mDEMが全国分リリースされ，既にリリースされていた日本のジオイド96「数値地図５kmメッシュ（ジオイド高）」と組み合わせることより，日本全国（離島は除く）の楕円体高が計算できる状態となった。ただし，50mDEMは［日本測地系：ベッセル楕円体］で表示される経緯度に対する標高が格納されているのに対し，日本のジオイド96は［WGS84座標系：WGS84楕円体］に準拠したジオイド高が格納されているため，これらを（3）式で，足し算をする前に,［座標系：楕円体］を揃える必要がある（次節参照）。

以上のように，任意の陸地で地表面の楕円体高を計算することが可能ではあるが，50mDEMとジオイド高モデルをTKY2JGDに内蔵することは得策ではない。容量が１GBを超えてしまうからである。

そこで，地表面の楕円体高を内蔵せず，地域毎の変換パラメータを計算する段階で，地表面の楕円体高を使用することにより,「地表面での変換パラメータ」を求めることとし，目的を実現することができた。地表面の楕円体高を内蔵しなくてもこれを加味した変換ができることの詳細は次節に記述する。

つまり，TKY2JGDで採用している地域毎の変換パラメータは,「地表面の座標値を高精度に変換できるように設定されている」。「緯度，経度を指定することにより暗黙の内にその場所の地表面の楕円体高を入力した」ことになるのである。以上により，TKY2JGDの地域毎の変換パラメータを用いた座標変換は，（2）式より簡素化され，（4）式により行われる。

$$\begin{pmatrix} B2 \\ L2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B1 \\ L1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dB \\ dL \end{pmatrix} \qquad (4)$$

この節をまとめると，本来なら高さがないと座標変換できないところ，ユーザの負担を軽減し，高さの準備を不要にするため，標高データとジオイドモデルを使用することで，高さ入力不要ながら，高さを考慮した座標変換が可能となった。

「世界測地系移行に伴って高さも変わるはずだから，高さの変換もTKY2JGDに組み入れても良いのでは」という考えもあるかもしれない。しかし，座標系が世界測地系になろうと，楕円体が変わろうと，ある場所の標高は変わらない。標高は楕円体高やジオイド高と違い，［座標系：楕円体］に依存しない高さだからである。つまり標高の座標変換は原理的に不要なのである。ただし，測量法改正に合わせて更新される基準点成果表の標高は以前と違った値となるものも多い。その理由は,「座標系と準拠楕円体が変わったから」ではなく，改測や改算などによる値の更新である。

3．2　グリッド化処理

TKY2JGDの地域毎の変換パラメータ計算にあたっては，一，二，三等三角点約38,000点の新旧座標値を使用した。これらの点それぞれにおいて，

$$\begin{pmatrix} dB \\ dL \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B2 \\ L2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} B1 \\ L1 \end{pmatrix} \qquad (5)$$

を計算し，コンピュータで扱いやすい格子点（グリッド点）でのdB, dLを計算する。この処理がグリッド化処理である。グリッドは，［日本測地系：ベッセル楕円体］において緯度，経度それぞれ等間隔のグリッドを形成し，

それぞれの格子点がdB，dLという値をもつものとする。グリッド化は，dB，dL別々に行った。

グリッド化処理は実に奥が深い。色々な手法があり，どれを使うかによって，得られる結果は異なる。どの手法が最良かを判定するのはなかなか難しい。手法に求められるのは，「三角点と三角点の間の格子点で正しいdBを推定してくれる。」という条件である。この条件を満たすには，なめらかで不連続のないdBの曲面を形成することが必要である（十分ではないが）。この条件を満たした手法からさらに手法を絞り込むために重要な参考となる見極め方がある。「グリッド化して得られた格子点上のdBを用いて三角点上のdBを再現（Bilinear補間法等で内挿補間して求める）した値が元の値にどの程度戻るか」を見るのである。

ニアレスト・ネイバから始めて，直線補間，カーネル・スムージング，重み付き補間等色々なグリッド化処理法を試してきた。その中でKriging法は，日本全国の座標変換パラメータを一度にグリッド化するのに適しており，TKY2JGDの地域毎の変換パラメータを求めるために用いられた。ただし，この手法は，計算に何日もかかることやその性質を理解して最適な条件設定を行わないと性能が発揮されないという難しさもあるため，条件設定には多くの時間を費やした。条件設定とは，グリッド間隔，空間分布モデル，影響範囲，入力データの重み等である。

Kriging法は，格子点以外の点の既知の値から，格子点の未知の値を推定するアルゴリズムの一つである。variance curvesを重み関数として使用し，推定する格子点の値及び既知点の値のvarianceが最小となるように格子点の値を推定する（Davis, 1973; Isaaks, 1989）。Kriging法による未知点（格子点）の値の推定には，逆行列計算が必要とされ，コンピュータに対する負荷は非常に大きい。

さて，(5) 式において，B2, L2は新しい座標値であり，当初，［ITRF94座標系：GRS80楕円体］（世界測地系）における値を使用していた。これは，米国のNADCON（Dewhurst, 1990）やTKY2WGS（Tobita, 1994b）と同じであった。しかし，この方法の場合，グリッド化の際，（測地網の歪み他に起因する）個々の三角点の位置ずれと同時に，楕円体の大きさおよび位置の違いによる滑らかな曲面による座標差も推定していた。

後者の座標差は，２．１節で述べた幾何学的な座標変換式で厳密に表現可能な成分である。筆者はこの点に着目し，「このような２つ以上の要因に起因する複雑な曲面を推定するより，より単純な曲面を推定させた方がより精度良い推定が可能なはずである。後者の成分を除いた成分のみ，つまり個々の三角点の位置ずれ成分のみを推定させる。」という方法を試みた。

これを実現するには，(5) 式の代わりに (6) 式を用いる。

$$\begin{pmatrix} dB' \\ dL' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B2' \\ L2' \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} B1 \\ L1 \end{pmatrix} \qquad (6)$$

ここで，B2', L2' は［Tokyo97系：ベッセル楕円体］における新しい座標値である。幸い，一，二，三等三角点の世界測地系における座標値計算の過程で，［Tokyo97系：ベッセル楕円体］の座標値を経由していることから，これらの座標値は問題なく手に入る。

新しい方法を採用することによって，従来の複雑な曲面推定の場合に比較して，約30％の精度向上が見られた。やはり，Krigingに単純な推定をやらせた方が良い結果が得られたのだ。

新しい方法でKriging推定されたdB', dL'（Tokyo97系－日本測地系）は，そのままでは使用できないので，最終的なdB, dL（世界測地系－日本測地系）を算出する際には，まず，グリッド点において，［Tokyo97系：ベッセル楕円体］のB2'（＝B1＋dB'），L2'（＝L1＋dL'）を求める。次に，50mDEMからB2', L2'における標高を参照する。また，日本のジオイド96データから［Tokyo97系：ベッセル楕円体］におけるB2', L2'のジオイド高を参照する。標高とジオイド高を加えて，楕円体高H2'を計算。さらに，これらをベッセル楕円体の楕円体パラメータを用いて三次元直交座標（X2', Y2', Z2'）Tokyo97系に換算，続いて，

$$\begin{pmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{pmatrix}_{ITRF94系} = \begin{pmatrix} X2' \\ Y2' \\ Z2' \end{pmatrix}_{TOKYO97系} + \begin{pmatrix} -146.414\mathrm{m} \\ +507.337\mathrm{m} \\ +680.507\mathrm{m} \end{pmatrix} \qquad (7)$$

によって，［ITRF94座標系：GRS80楕円体］に準拠した三次元直交座標（X2，Y2，Z2）ITRF94系を得る。GRS80楕円体の楕円体パラメータを用いて，緯度B2，経度L2，楕円体高H2を計算。これらの値が世界測地系の座標値に他ならない。最後に，

$$\begin{pmatrix} dB \\ dL \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B2 \\ L2 \end{pmatrix}_{ITRF94系} - \begin{pmatrix} B1 \\ L1 \end{pmatrix}_{日本測地系} \qquad (8)$$

により，格子点における座標変換パラメータdB，dLが得られる。

日本測地系から世界測地系への座標変換は，これら２つの変換パラメータを用いて，

$$\begin{pmatrix} B2 \\ L2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B1 \\ L1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dB \\ dL \end{pmatrix} \qquad (9)$$

により行うことができる。

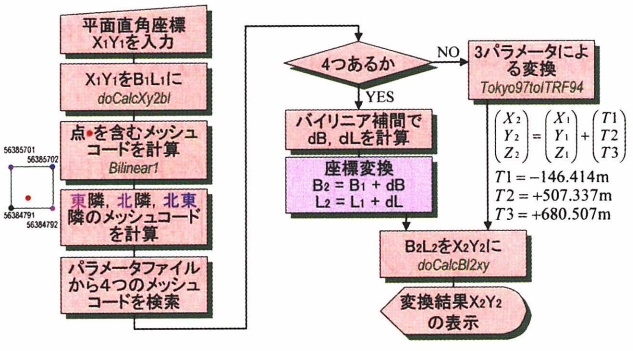
3．3　TKY2JGDプログラムのアルゴリズム

これまで述べた方法で作成した地域毎の変換パラメータ（dB，dL）をアスキーファイルとして格納してこれを配布する。これを変換パラメータファイルと呼ぶ。

変換パラメータを読み込み，GUIによりユーザから入力された座標値に応じて必要なパラメータを使用してバイリニア補間を行い，実際に座標変換を行うプログラムがTKY2JGDプログラムである。TKY2JGDプログラム，変換パラメータ，ヘルプファイル一体となったものがTKY2JGDソフトウェアである。

この節では，TKY2JGDプログラムが座標変換を行うアルゴリズムを解説する。

TKY2JGDはGUIにより，変換データ形式（緯度・経度，平面直角座標）の選択ができるが，ここでは，［日本測地系：ベッセル楕円体］に準拠した平面直角座標（X1，Y1）を入力して「順方向の変換」（［日本測地系：ベッセル楕円体］から［ITRF94座標系：GRS80楕円体］の方向の座標変換）を行う場合について図－４のフローチャートに沿って解説する。



図－４　TKY2JGDがパラメータファイルを使用して座標変換を行うアルゴリズム。公開されているTKY2JGDプログラムのソース・コードにおけるプロシージャ名を緑字で示す。

まず，ベッセル楕円体の楕円体パラメータを使用して，ガウスクリューゲル投影による計算により，緯度B1，経度L1を得る。

そのB1，L1を含む３次メッシュコードを計算する（図の例では，56384791）。地域毎の変換パラメータの格子点は，３次メッシュの中央ではなく，南西隅に対応する。

東隣，北隣，北東隣の３次メッシュコードを計算する。これら４つのメッシュコードが存在する４行を変換パラメータファイルから検索する。

４行全部見つかったかどうかによって処理が分岐する。

「YES」なら，４つのdBから，バイリニア補間法により代表値dBを計算。同様に，代表値dLを計算。

（９）式により座標変換を行う。

一方，「NO」なら，B1，L1，および，H1（楕円体高）＝0をベッセル楕円体の楕円体パラメータを用いて三次元直交座標（X1，Y1，Z1）に換算。これらを図の3パラメータによる座標変換で，(X2，Y2，Z2）に変換。GRS80楕円体の楕円体パラメータを用いて（B2，L2，H2）に換算する。

「YES」，「NO」それぞれの分岐から得られたB2，L2をGRS80楕円体の楕円体パラメータを用いてガウスクリューゲル投影により平面直角座標X2，Y2に投影する。最後に，変換結果を表示する。

緯度経度を与えて3次メッシュコードを算出するアルゴリズムとプログラムは，飛田(2002)に詳説されている。同様にバイリニア補間法についても同書が詳しい。

3パラメータによる変換について，注意点を述べる。同じ3パラメータによる変換を行うツールとして，trns96がある。trns96は，1990年代後半から国土地理院のホームページ上で公開され広く利用されてきた座標変換プログラム群である。その中の中心的なプログラムxyz2xyzは，

$$\begin{pmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \tag{10}$$

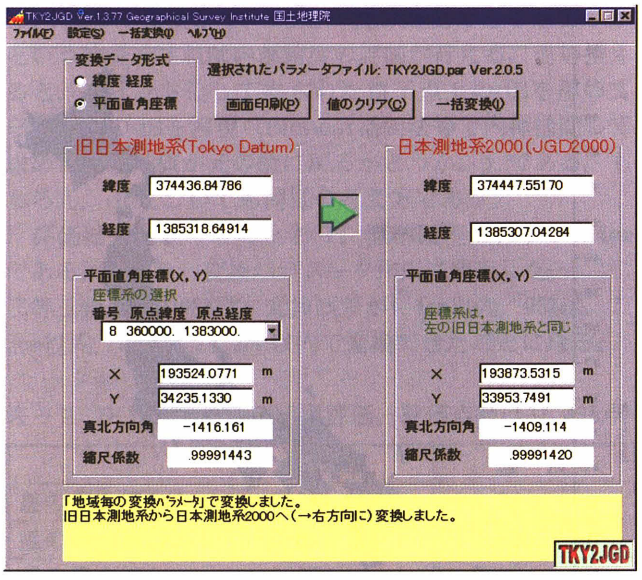
により７パラメータによる変換を行うプログラムであるが，変換パラメータとして，

T1＝－146. 414m, T2＝507. 337m, T3＝680. 507m,
D＝0. 00, R1＝0. 00, R2＝0. 00, R3＝0. 00,
From Tokyo97 to ITRF94

を用いれば，TKY2JGDの3パラメータによる変換と同様の座標変換が行える。しかし，TKY2JGDでは，楕円体高＝0で変換を行うため，両者で同一座標を変換した結果は，楕円体高1000mにつき水平方向の座標差最大85mmの差が生じる（３．１節参照）。楕円体高を入手可能な点の3パラメータによる変換には，迷わずtrns96を選択しなくてはならない。なお，trns96の詳細な使用方法は飛田（2002）に記述されている。

4．TKY2JGDの特徴

図－５にTKY2JGDのメイン画面を示す。この例では，緯度，経度は，それぞれ＋10. 7秒，－11. 6秒変わり，X，Yは，それぞれ349. 5m(北方向)，－281. 4m（西方向）に変わる。



図－５　TKY2JGDのメイン画面。平面直角座標X, Yの変換例

変換パラメータファイルのサンプルを表－１に示す。

表－１　TKY2JGDパラメータファイルの例。先頭部分のみ掲載。

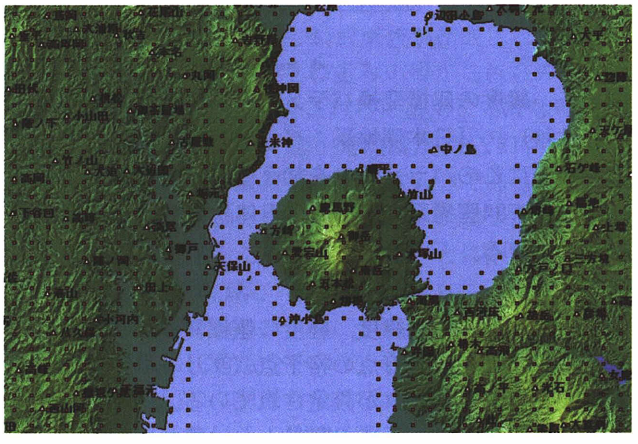
JGD2000-TokyoDatum	Ver. 2. 0. 5
MeshCode	dB(sec)	dL(sec)
46303582	12. 79799	-8. 13354
46303583	12. 79879	-8. 13749
46303584	12. 79959	-8. 14144
46303592	12. 79467	-8. 13426
46303593	12. 79544	-8. 13819
46303594	12. 79627	-8. 14216
46303595	12. 79708	-8. 14611
46304502	12. 79472	-8. 14500
46304503	12. 79571	-8. 14773
46304504	12. 79727	-8. 15097
46304505	12. 79853	-8. 15422
46304506	12. 79977	-8. 15774
46304512	12. 79136	-8. 14613
つづく		

パラメータファイルの構造は表－２のとおりである。

表－２　パラメータファイルTKY2JGD. parの構造

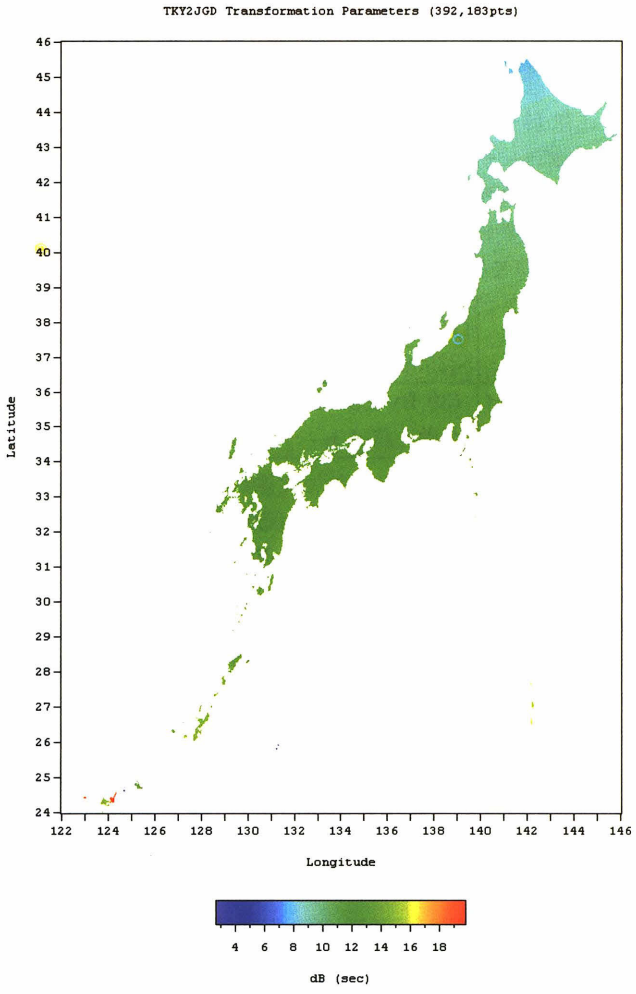
グリッド間隔	緯度方向（緯線間隔）	30秒
	経度方向（経線間隔）	45秒
ヘッダー部	２行。各行はパラメータ部に合わせて30バイト長。 例： JGD2000－TokyoDatum　Ver. 2. 0. 5[CR+LF] MeshCode　dB(sec)　dL(sec)[CR+LF]	
パラメータ部１行の構造	３次メッシュコード８バイト	例：53393690
	緯度差9バイト。単位は秒。	例：　11. 66037
	経度差9バイト。単位は秒。	例：　-11. 63272
	データ間の区切り文字は半角空白1つ。合計2つ。	
	行末は, CR＋LF。合計で1行あたり30バイト。	
	行の例: 53393690　11. 66037　－11. 63272[CR+LF]	
ファイルサイズ	(30 Bytes×2行)＋30 Bytes×パラメータ数）バイト	

図－６中に等間隔で並んでいる赤い□の点が地域毎の変換パラメータが存在する格子点である。漢字の三角点名とともに白い△で表示されているのが，グリッド化処理（３．２節）の元になった一，二，三等以上三角点である。ご覧のとおり，地域毎の変換パラメータは海上の沖合には存在しない。理由は２つ。(1) グリッド化処理で元データのない海上では，グリッドの推定値が著しく大きな誤差をもつことがあるため。(2) また，海上は基準点のような誤差を含む実体がないため，地域毎の変換パラメータの存在意義がない。

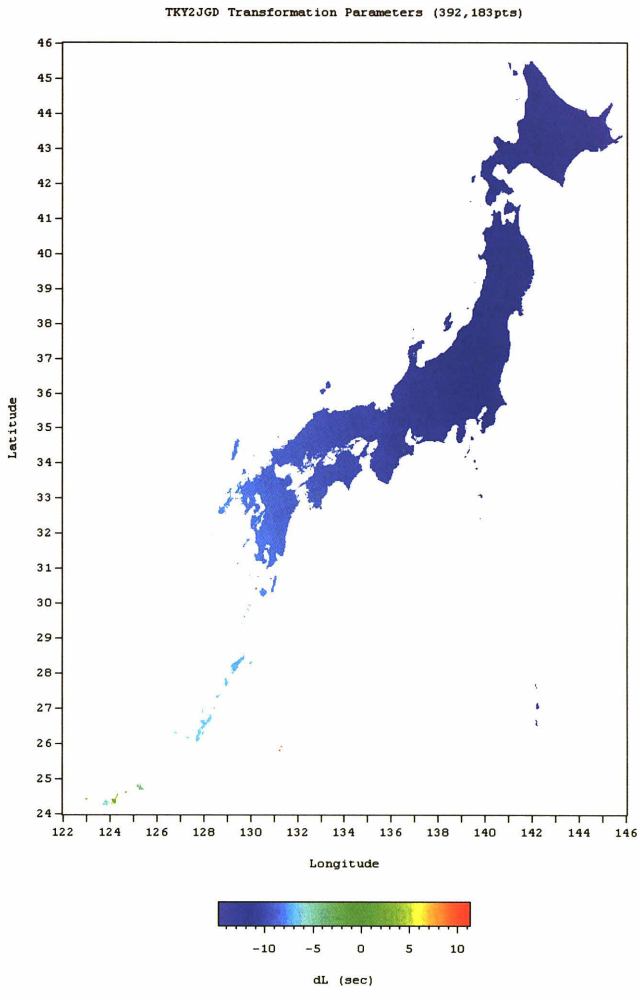


図－６　グリッド化処理の元データである三角点（△）と格子点上に分布するTKY2JGDの地域毎の変換パラメータ

沿岸の海上には変換パラメータが存在する。これにより，岬や離島も確実に４つの変換パラメータによりバイリニア補間を行うことが可能となっている。変換パラメータを設定するかどうかの判断は,「その３次メッシュ格子点を中心とした南北に60秒，東西に90秒の長方形領域に陸地があるかどうか，50mDEMを参照し，陸地があればその格子点にパラメータを設定する」というロジックによっている。



図－７　緯度の座標変換パラメータ（新緯度－旧緯度，単位は秒）。［日本測地系：ベッセル楕円体］における旧座標値にこのパラメータを加えることにより，世界測地系［ITRF94座標系：GRS80楕円体］における新座標値を算出できる。



図－８　経度の座標変換パラメータ（新経度－旧経度，単位は秒）。［日本測地系：ベッセル楕円体］における旧座標値にこのパラメータを加えることにより，世界測地系［ITRF94座標系：GRS80楕円体］における新座標値を算出できる。

図－７，図－８に緯度，経度の座標変換パラメータの分布を示す。約３８万点の格子点（グリッド）上に，地域毎の変換パラメータが設定されている。

一部の離島では，近隣の離島とかけ離れた値をとっている（例：石垣島）。三角測量で三角網を構築していた時代に，トランシットで視通のとれない離島は，独自の測地系とせざるを得なかったためである。技術的な問題でものさしが正確にあてられなかったのだ。

お互いに遠く離れた場所でも高精度な測量を可能にするVLBI，SLR，GPSの登場で，このような誤差は解消された。

TKY2JGDは，国土地理院の技術資料（飛田，2001）として，CD－ROMで発行された。ヘルプ他のドキュメントもCD－ROM中に電子的に格納されており，紙の論文集やマニュアルは附属していない。

国土地理院のWebページ（ホームページ）http://www.gsi.go.jp/から，TKY2JGDのプログラム，パラメータファイル，ヘルプファイルがダウンロード可能である。また，一定の条件に同意いただくことにより，ソース・コードもダウンロード可能である。

Appendix図－19として，58離島地域のTKY2JGD座標変換パラメータ分布図を掲載した。離島については，国土地理院測地部測地第二課が中心となり，離島地域毎に，Kriging法などを用いて，変換パラメータが作成された。離島地域だけで，格子点の総数は13,552点になる。

５．変換の精度評価

５．１　内部評価（内部精度）

TKY2JGDの地域毎の変換パラメータは，一，二，三等三角点約38,000点から決定されたが，それらの点をT

KY2JGDで変換して，既知の値が再現できるかどうかという検査をすれば内部精度の評価が行える。言い換えると,「グリッド化して得られた格子点上のdBを用いて三角点上のdBを再現（Bilinear補間法等で内挿補間して求める）した値が元の値に戻るかどうか。」である。もちろん，dLについても同様の考え方である。

評価結果は表－３のとおり。標準偏差はわずか1.4cmである。つまり，変換パラメータ作成に使用した一，二，三等三角点の内68%は，変換誤差が1.4cm以内，95%は，2.8cm以内，99.7%は4.2cm以内で変換できたことになる。

表－３　TKY2JGDの内部精度評価。評価点数は37,435点

	緯　度	経　度
差の最大値(m)	＋0.38	＋0.23
差の最大値(秒)	＋0.012	＋0.009
差の最小値(m)	－0.85	－0.26
差の最小値(秒)	－0.028	－0.011
差の標準偏差(m)	0.014	0.012
差の標準偏差(秒)	0.00046	0.00049

全く同じ方法で内部精度を評価した例が過去に２件ある。TKY2WGSの標準偏差が9.4cm，米国NADCONの標準偏差が14.8cmであった。このように，TKY2JGDが非常に高い内部精度を達成できた要因は，(1)コンピュータ計算速度の著しい向上による逆行列計算の計算の高速化により格子点間隔を細かく設定できた。(2)グリッド化処理の際，楕円体投影部分の滑らかな変化成分を含めず，純粋な歪み成分のみを推定するアルゴリズムを新規に採用したこと。の２点が上げられる。この背景には，数値地図（50mDEM，日本のジオイド96）が整備され活用できたことがある。

５．２　外部評価（確度）

前節の結果から,「TKY2JGDを使えば，95%の確率で2.8cm以内の誤差で変換が可能」と言えるであろうか。もし，変換対象の基準点や地図が，一，二，三等三角点に誤差なく結合されていれば,「Yes, 可能」と言えるが，現実は違うため，変換の精度は落ちざるを得ない。

変換誤差は，

2.8cm＋［一，二，三等三角点との位置関係の誤差］　(11)

と予想される。

TKY2JGDの作成に使用されなかった任意の点で評価しないとTKY2JGDの実力を評価（外部評価）することはできない。そこで，国土地理院では，四等三角点577点において，電子基準点を既知点としたGPS干渉測位による測量を実施し，世界測地系における座標値を実測した。この実測値ももちろん誤差を含んでいるため，真値とはならないが，TKY2JGDによる変換より高精度であると考えられることから，実測値を今回の外部評価の基準とする。

その結果，緯度，経度の標準偏差はそれぞれ9cm，8cmという結果が得られた。四等三角点設置時の測量精度，四等三角点の点間距離（約1km）でのローカルな地殻変動，電子基準点を利用した測量結果と測地成果2000構築のアルゴリズムの根本的な違いによる座標差を考慮すると，今回の外部評価の結果は妥当ということができる。

６．利用対象

TKY2JGDは，基本的に，［日本測地系：ベッセル楕円体］に準拠した座標値を世界測地系［ITRF94座標系:GRS80楕円体］に準拠した座標値に変換するツールである。もっと厳密に言えば，国土地理院の基準点成果表（測量法改正前）の座標値と整合した座標値を変換するためのものである。

国土地理院発行の地形図他各種地図，数値地図は，もちろんTKY2JGDの対象である。また，三角点を既知点として測量された基準点（子）や，さらにそれらを既知点として測量された基準点（孫）もTKY2JGDの対象である。

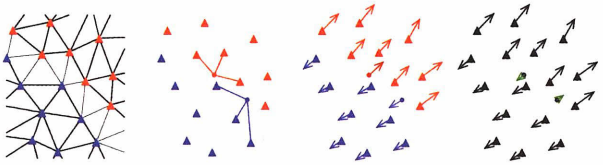
ただし，基準点成果表に整合した座標値でも例外はある。一等，二等，三等三角点の座標値である。これらについては世界測地系の新しい成果表が作成されている。TKY2JGD変換パラメータの生みの親がこれらの三角点である以上，TKY2JGDをこれらに適用してはならない。四等三角点については，国土地理院がTKY2JGD等を使用して世界測地系の成果表を作成するのであって，ユーザが成果表（改正前）をTKY2JGDで変換した値を公共測量などに利用することはできない。とにかく，新しい成果表がある基準点は，座標変換ではなく，成果表を利用するのが基本である。

国土地理院の三角点やその子，孫等と関連のない基準点は，TKY2JGDの利用対象外である。また，三角点同士の整合が良くない等の理由で，三角点を一点だけ使って測量した基準点も対象外。さらに，フリーネットで計算された基準点も対象外である。

三角点と整合していないものは基本的には，TKY2JGDの対象外ではあるが，中縮尺や小縮尺の地図など，通常，座標値が度単位，分単位，0.1分単位で表されるような座標値に関しては，TKY2JGDで変換して問題ない。つまり，一般的には，基準点測量以外の用途ではTKY2JGDはどの場所でも使える。

一，二，三等三角点内部で不整合が存在する場所がある。例えば，地震によって広域にわたって基準点が移動してしまった場合に，ＧＰＳが登場する以前は，そもそもどの範囲が移動したか知る方法がなかっただけでなく，

広範囲を効率よく再測量する方法もなかった。そのような場合には，自治体単位の限られた領域だけを再測量したり，再測量の時期がずれる間に再び地殻変動が起こったりする等，再測量地域単位で，座標値が整合しなくなってしまう場合もあった。



国家基準点網。赤と青で座標値の不整合が大

都市基準点を設置する際，行政単位での整合性が重視される

都市基準点の変換はこのようになってほしいが

TEY2JGDはこのように変換する。

図－9　国家基準点成果不整合地域でのTKY2JGDの限界

図－9は，そのような国家基準点網同士の不整合がある場合のTKY2JGDの振る舞いを示している。国家基準点網が，それぞれ座標値が整合する赤グループと青グループに分かれている場合，両グループをまたがって測量することは通常しない。都市基準点を設置する場合には，青グループに対応する自治体が設置する場合には，赤グループの国家基準点が近くにあっても，青グループの国家基準点を使う。世界測地系に移行する際には，赤グループと青グループは異なる量の補正を行い世界測地系では不整合は解消される。その際，都市基準点は，それぞれの親グループと同じ補正量を使って茶色のように座標変換されなければならないはずであるが，TKY2JGDにおいてはそのようなグループ分けは行っていないため，緑色のように変換されてしまう。

つまり，TKY2JGDは国家基準点不整合地域では基準点用の変換ツールとして使用できないことを意味している。

このような問題を解決するのは容易ではない。国家基準点同士の不整合はたとえ把握可能であっても，それらから生まれた基準点の親子関係は必ずしも記録に残っていない，あるいは容易に取り出せないからである。さらに，親子関係はわかっても，親である国家基準点がその子供を作った後に改測されてしまった場合にはどうしようもない。そのうえ，図－9のように，グループがある境界線できれいに2分できる場合は良いが，（高位の三角点だけ改測された場合等）グループが同一地区に混在している場合は非常に複雑である。この場合には，同一地区に2種類以上の変換パラメータを用意して，変換したい基準点がどの親グループの子孫かによって変換パラメータを選択せねばならない。つまり，基準点変換の際には，自分の血筋の三角点名とそれぞれの測量時期を手元に用意しなければならないことになる。

このようなことは可能ではあっても，現実的ではないため，もはや座標変換はあきらめ，再測量を選ぶことになるだろう。

さて，国家基準点網の不整合地域，つまり，TKY2JGDで高精度変換ができない地域はどこであろうか。筆者は，その地域を調べるある方法を考案した。グリッド化した直後の，dB，dLの勾配を調べる方法である。

勾配は，ある地域全体が大きな変換パラメータ量をもっても反応しないが，となりの格子点同士が異なる変換量をもつとそれに反応して大きな値をとる性質があるため，不整合の検出に使える。筆者は，

$$\sqrt{\left|\mathrm{grad}(dB)\right|^2+\left|\mathrm{grad}(dL)\right|^2}=\sqrt{\left\{\frac{\partial(dB)}{\partial B}\right\}^2+\left\{\frac{\partial(dB)}{\partial L}\right\}^2+\left\{\frac{\partial(dL)}{\partial B}\right\}^2+\left\{\frac{\partial(dL)}{\partial L}\right\}^2} \quad (12)$$

という量を「勾配二乗和根」と定義した。これは，発散（divergence，面積の増減を表す）

$$\mathrm{div}\vec{D}=\frac{\partial dB}{\partial B}+\frac{\partial dL}{\partial L} \quad (13)$$

や，回転（rotation，成果更新ベクトルの回転を表す）

$$\mathrm{rot}\vec{D}=\frac{\partial dB}{\partial L}-\frac{\partial dL}{\partial B} \quad (14)$$

の各項を2乗して加えたものの平方根に等しい。発散は，縦に伸びて横に縮んだ場合には相殺されて感知されない。また，回転は両方向の回転があるときは相殺されて感知されない。このような感度不良を解消するのが，勾配二乗和根である。

図－10～18に，地方毎の勾配二乗和根を示す。図で，「青および水色は，高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。」，「緑色は，要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。」，「黄色および赤は，変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。」ことをそれぞれ意味している。ひとことで言えば，「赤や黄色の場所は，TKY2JGDを使用する際に注意が必要」である。

ただし，これら勾配図は，あくまで参考として使用すべきである。実際には，地域それぞれの実体を調査するなどして対応していくべきである。

7．利用方法

陸地については，基本的に，TKY2JGDで変換できることはご理解いただけたと思うが，海上については海上保安庁が別途変換プログラムMGC2000Aを用意している。

しかし，「陸上はTKY2JGD，海上はMGC2000Aを利用する」と一概にいって良いかというとそうではない。海上の点でも，水路部の基準点とは無関係に，陸上の三角点を既知点として測量を行った点であれば，TKY2JGDを使う，陸上でも水路部の基準点を使って測量された点は，MGC2000Aを使うべきである。

要するに変換したい点が「どこ（陸か海か）にあるか」より，「どこの基準点（あるいは地図）を基準にして決定された座標か」によって，変換方法を選択すべきである。

たとえば，三角点「A」を使って測量された海上の（陸から１ｋｍ以上離れた）点Bの場合は，地域毎の変換パラメータがなくても次のように工夫すれば変換できる。三角点「A」の座標を，TKY2JGDを用いて，「地域毎の変換パラメータ」および「３パラメータ」で変換し，緯度，経度それぞれ「前者－後者」（補正量）を求める。点Bでは「３パラメータ」でしか変換できないが，それに補正量を加える。これによって正しい座標変換が可能である。

離島によっては，地図と海図が食い違っている。ある点を変換したい場合は，その点が地図または海図のどちらから読みとった座標なのかによって，どちらの変換プログラムを使うかが決まる。

重要なことは，ある場所の変換パラメータは決して一つとは限らないということ。ものさしの数だけ変換パラメータが必要なのだ。誤差のない測量はない。誤差がなくても，ものさしは地殻変動によってゆっくり，時として突然，変わる。つまり，完全なひとつのものさしは存在しない以上，変換パラメータもひとつではすまない。

座標変換をできるだけ高精度に行うには，高精度な変換パラメータが必要なのは間違いないが，それに加え，測量の履歴情報や最適な変換方法の選択が必須である。

8．まとめ

コンピュータの性能向上，数値地図の整備という環境と，新しく開発したグリッド化アルゴリズムを最大限に利用することにより，幾何学的な座標変換では不可能でな高精度座標変換を行うソフトウェアTKY2JGDを開発した。TKY2JGDは，変換パラメータ作成の元データである三角点の成果不整合地域では，基準点測量にとって十分な精度を提供することはできない場合があるものの，従来の座標変換パラメータを使う方法と比較して約７倍の精度向上を実現したことは事実であり，座標変換の適用分野，適用可能範囲を広くした。このことは，再測量の必要数を減少させ，世界測地系移行に要する総コストを削減させたことを意味する。

謝　辞

TKY2JGDの開発には10年以上要した。海津優氏はじめ国土地理院の諸先輩，同僚の皆様の，ご理解，ご指導，ご協力なくして，このソフトウェアができることはなかった。皆様に心より感謝いたします。

本研究では，コンピュータを多用したが，SEの横島由紀則氏のサポートに感謝します。また，TKY2JGDパラメータ作成にあたり，広範囲かつ高分解能のデータ表示をGUIにて行えるツールとしてカシミール３Ｄを使用させていただきました。同ソフトウェア開発者のDAN杉本氏に敬意を表します。

引 用 文 献

Davis JC (1973) : Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley&Sons, Inc.

Dewhurst, WT (1990) : NADCON; The Application of Minimum Curvature－Derived Surface in the Transformation of Positional Data from the North American Datum of 1927 to the North American Datum of 1983. NOAA Technical Memorandum NOS NGS－50. 30 pp.

Fukuda, Y., J. Kuroda, Y. Takabatake, J. Itoh, and M. Murakami (1997) : Improvement of JGEOID 93 by the Geoidal Heights derived from GPS/Leveling Survey, IAG Symposia, 117, Gra. Geo. and Mar. Geodesy, 589.

Isaaks EH, Srivaslava RM (1989) : Applied Geostatistics, Oxford University Press.

黒田次郎・高畑嘉之・松嶋成佳・福田洋一 (1997) : LSC 法による GPS/ 水準測量と重力ジオイドの結合，国土地理院時報, 87, 1－3.

西修二郎 (1981) : 日本の天文ジオイドについて，国土地理院時報，No. 55, 29－37.

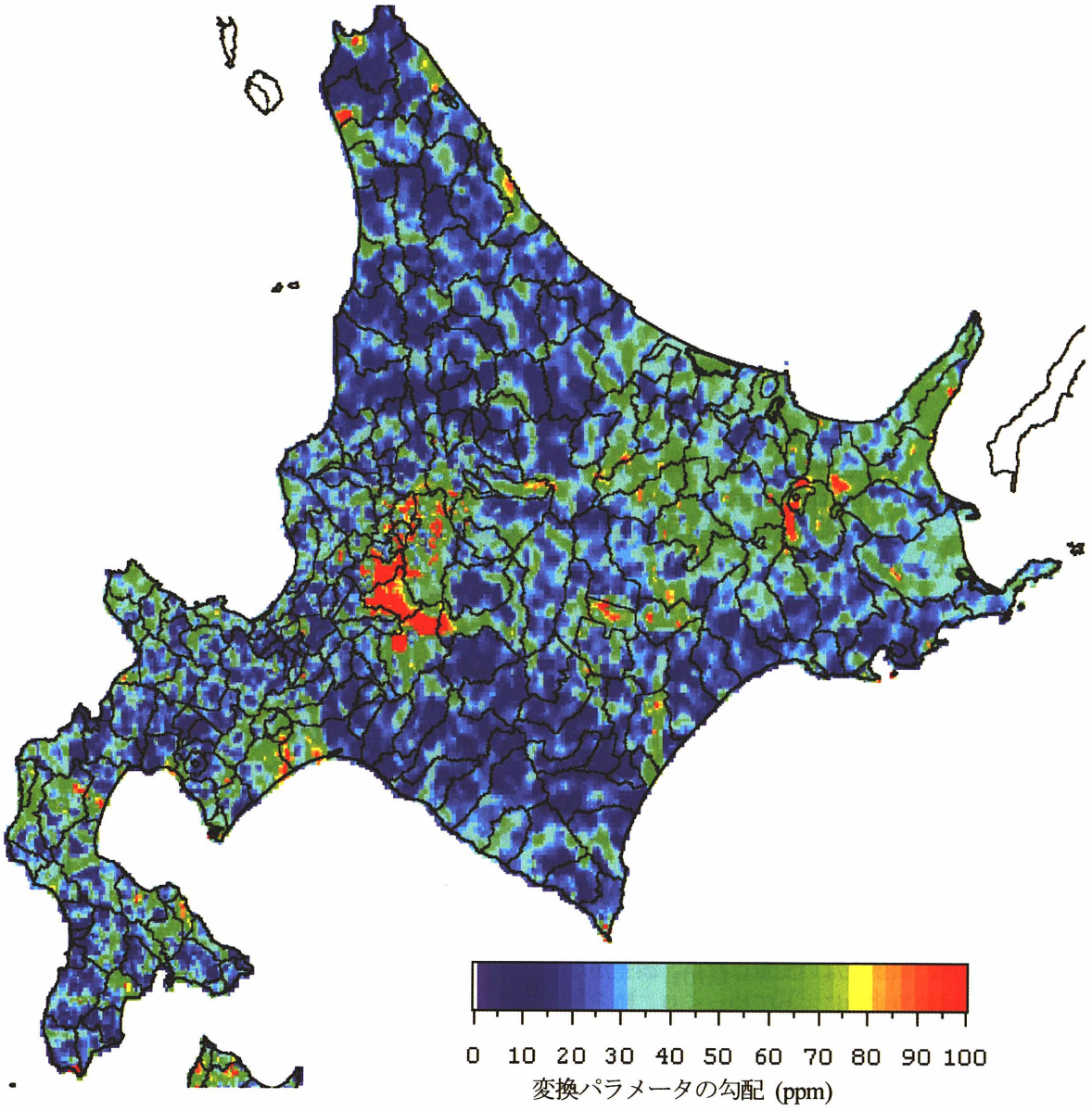
Tobita, M. (1994a) : Applications of the Precise Geodetic Network and Integration of the Coordinate Systems, Technical Memorandum of Geographical Survey Institute, B. 1－No. 24, 1－37.

Tobita, M. (1994b) : Development of Coordinate Transformation Program TKY2WGS, Technical Memorandum of Geographical Survey Institute, B. 1－No. 23, 8－18.

飛田幹男 (1994) : 地域毎に求めた東京測地系－WGS84系間の座標変換パラメータ，国土地理院時報，Vol. 79, 7－14, 1994.

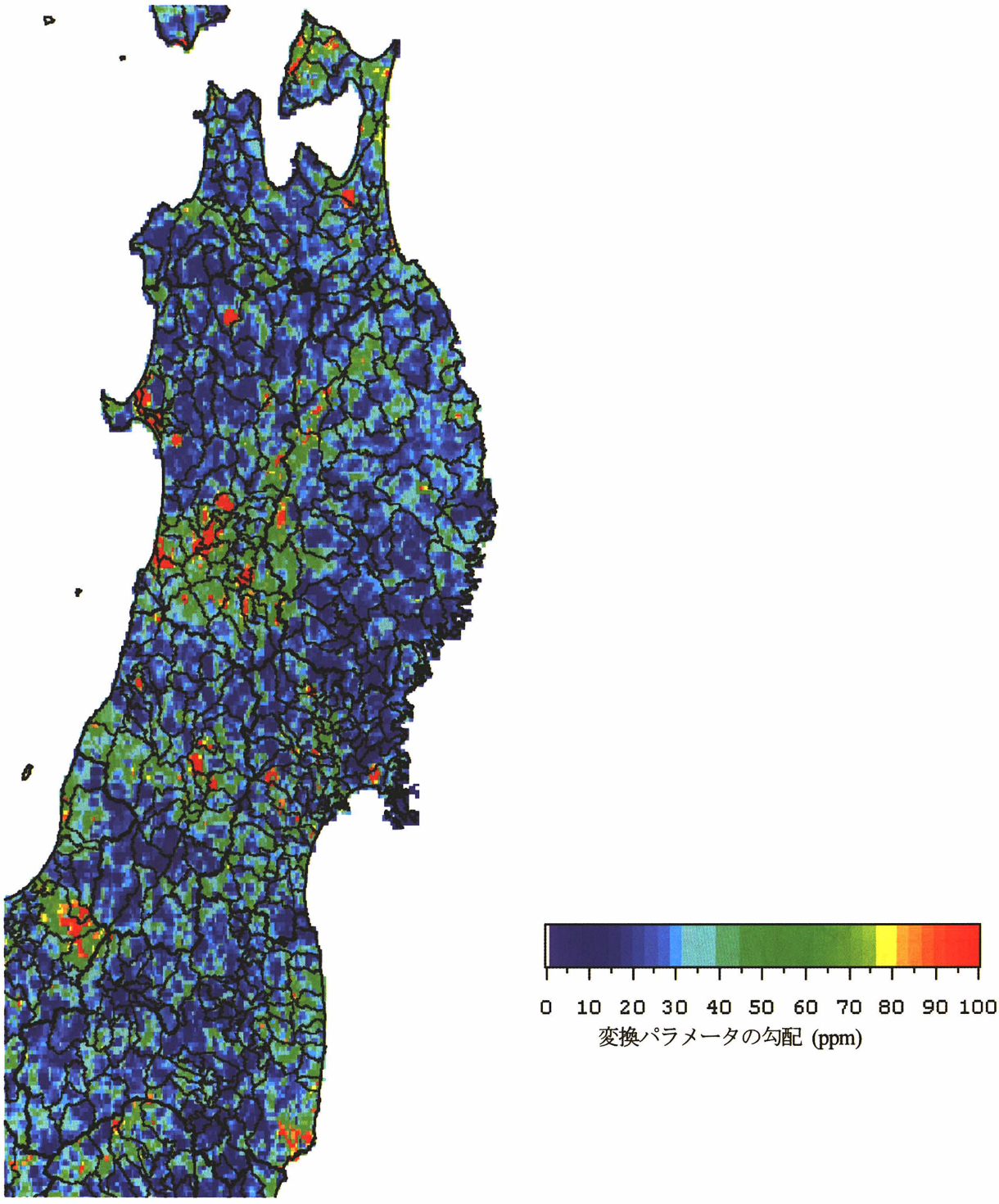
飛田幹男 (2001) : 測地成果2000のための座標変換ソフトウェア”TKY2JGD”，国土地理院技術資料，H・1－No. 2, CD－ROM.

飛田幹男 (2002) : 世界測地系と座標変換，日本測量協会，東京，約170ページ（2002年3月刊行予定）.



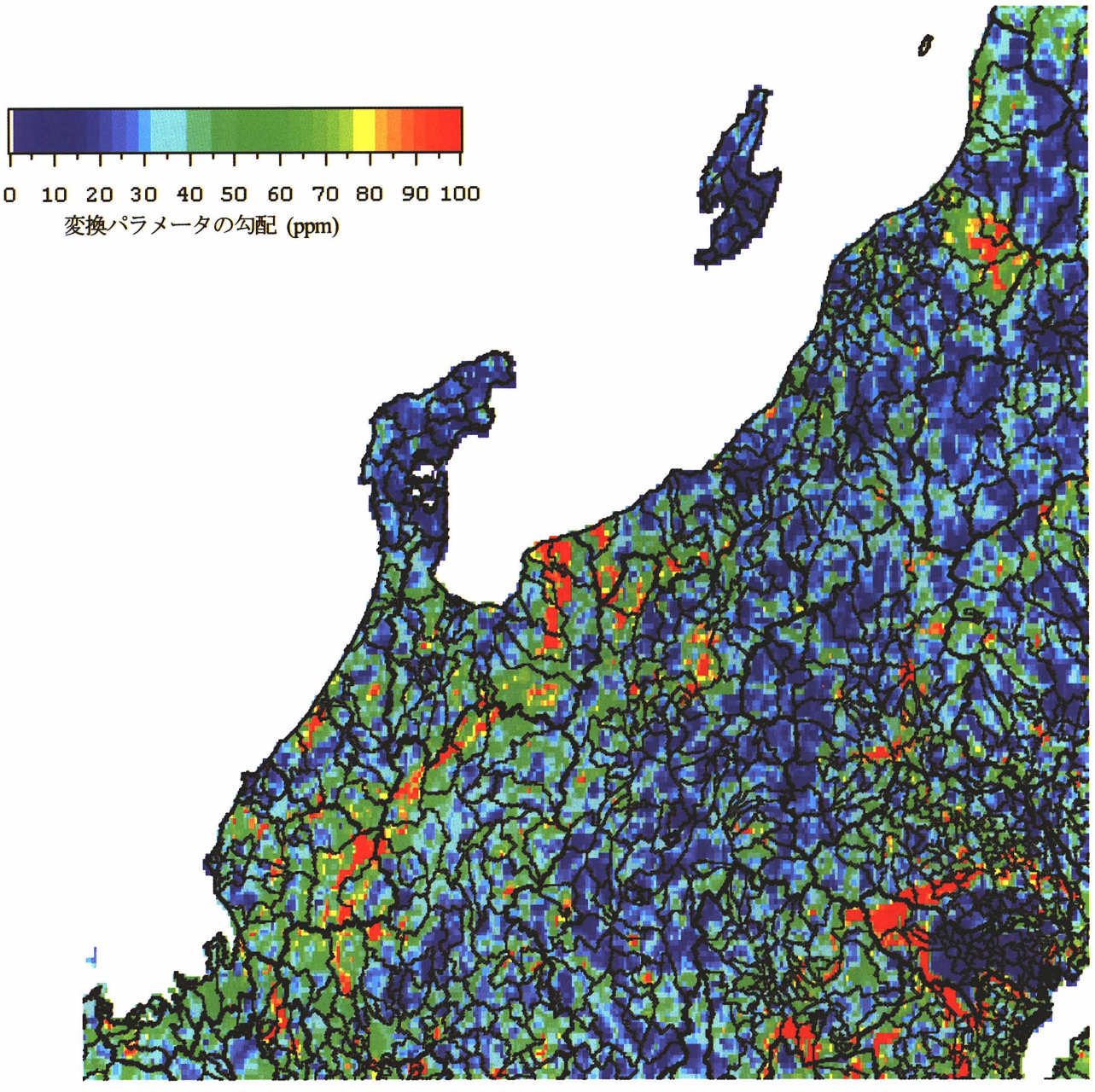
青，水色：高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。
緑，　　：要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。
黄色，赤：変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。

図－10　地域毎の変換パラメータ“TKY2JGD. par”の勾配二乗和根。北海道地方。



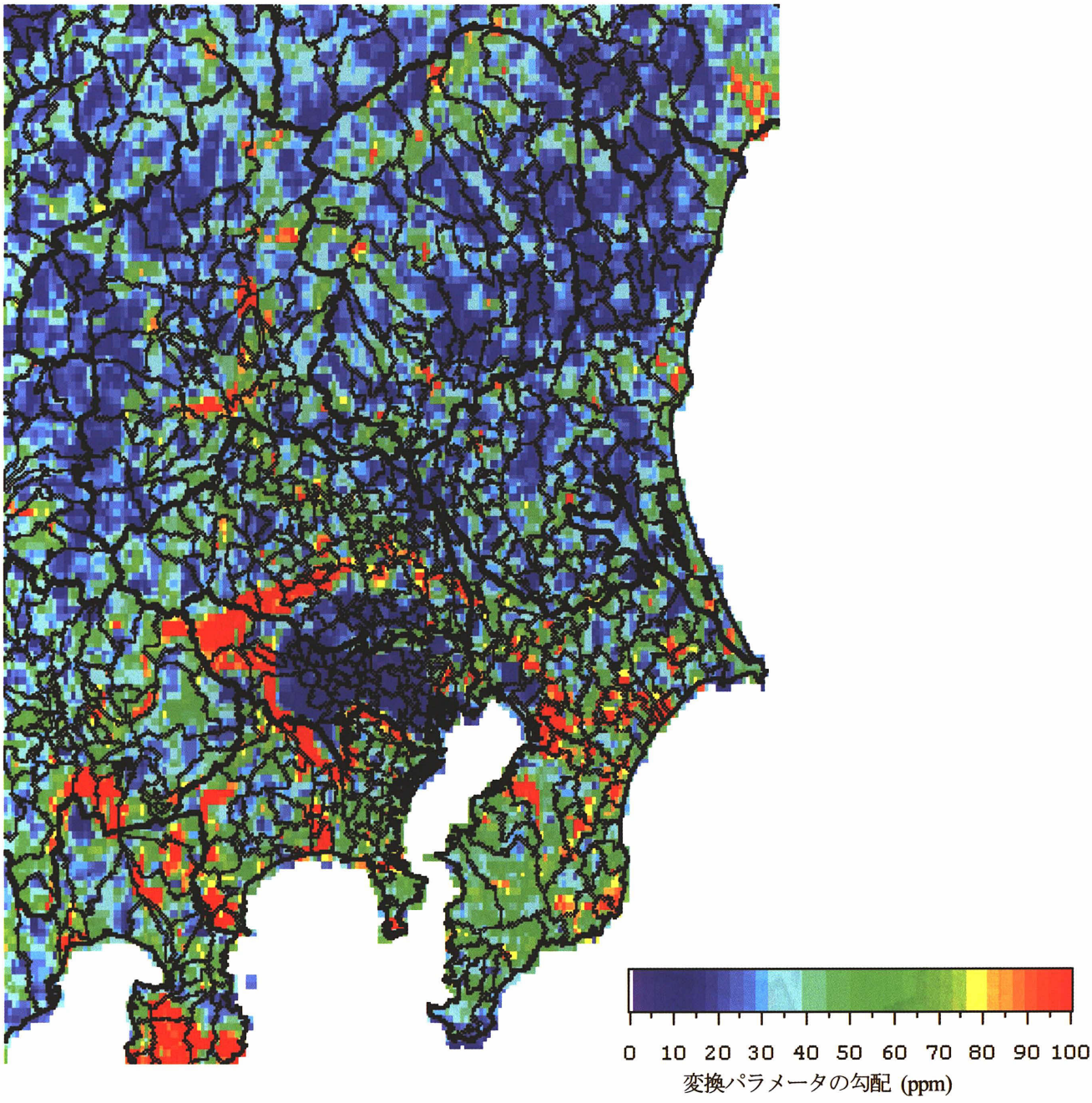
青，水色：高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。
緑，　　：要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。
黄色，赤：変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。

図－11　地域毎の変換パラメータ“TKY2JGD. par”の勾配二乗和根。東北地方。



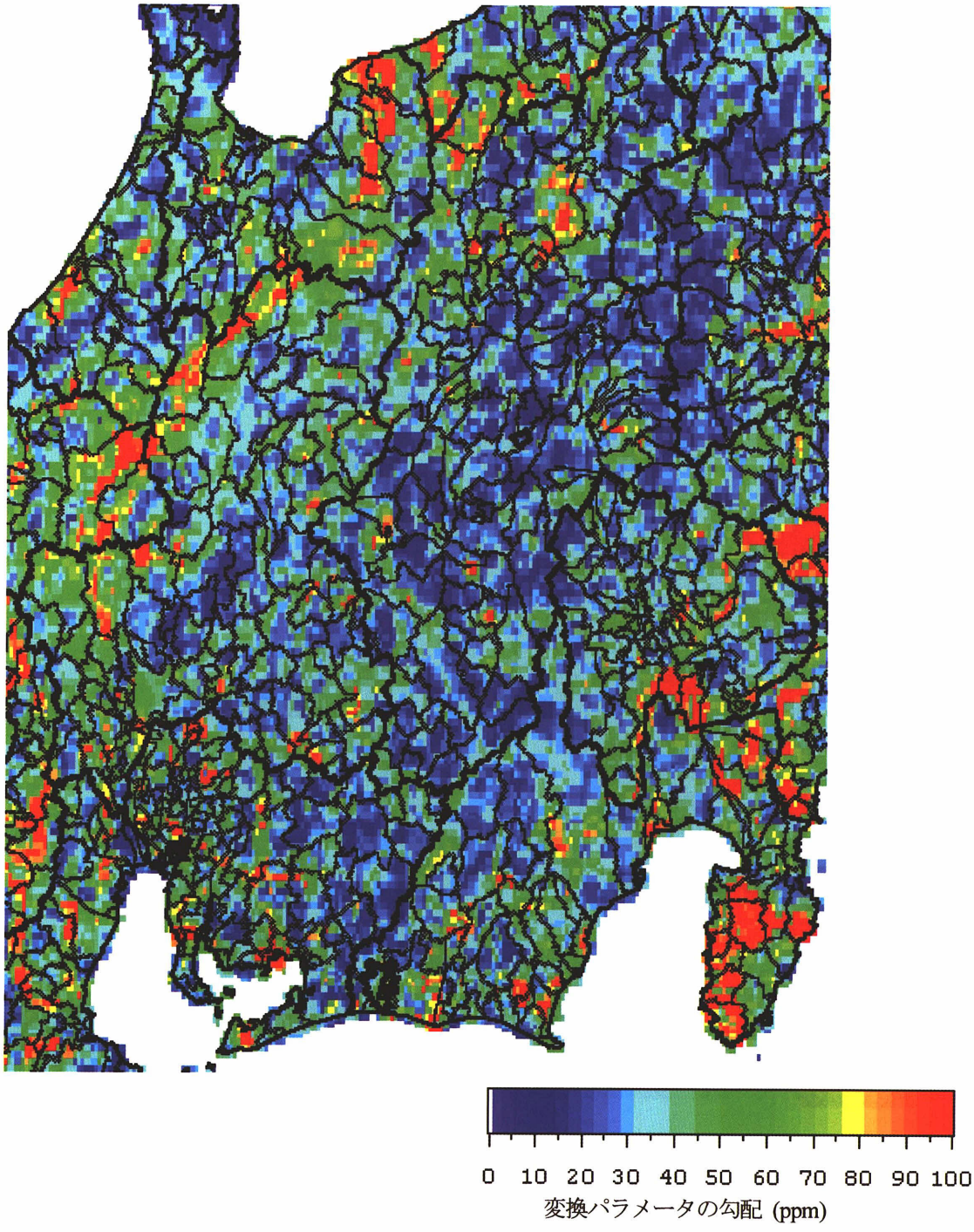
青，水色：高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。
緑，　　：要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。
黄色，赤：変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。

図－12　地域毎の変換パラメータ“TKY2JGD.par”の勾配二乗和根。北陸地方。



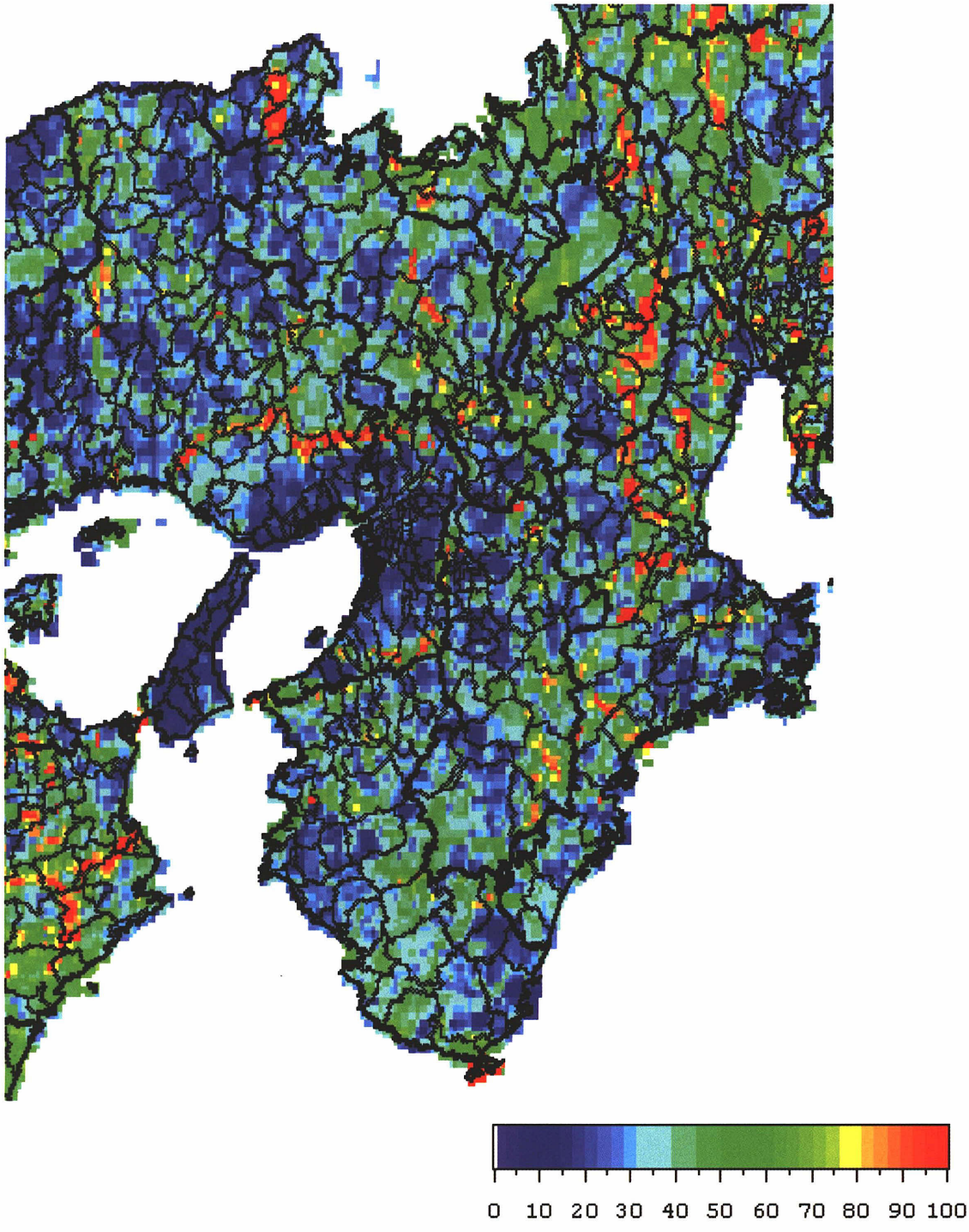
青，水色：高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。
緑，　　：要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。
黄色，赤：変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。

図－13　地域毎の変換パラメータ“TKY2JGD.par”の勾配二乗和根。関東地方。



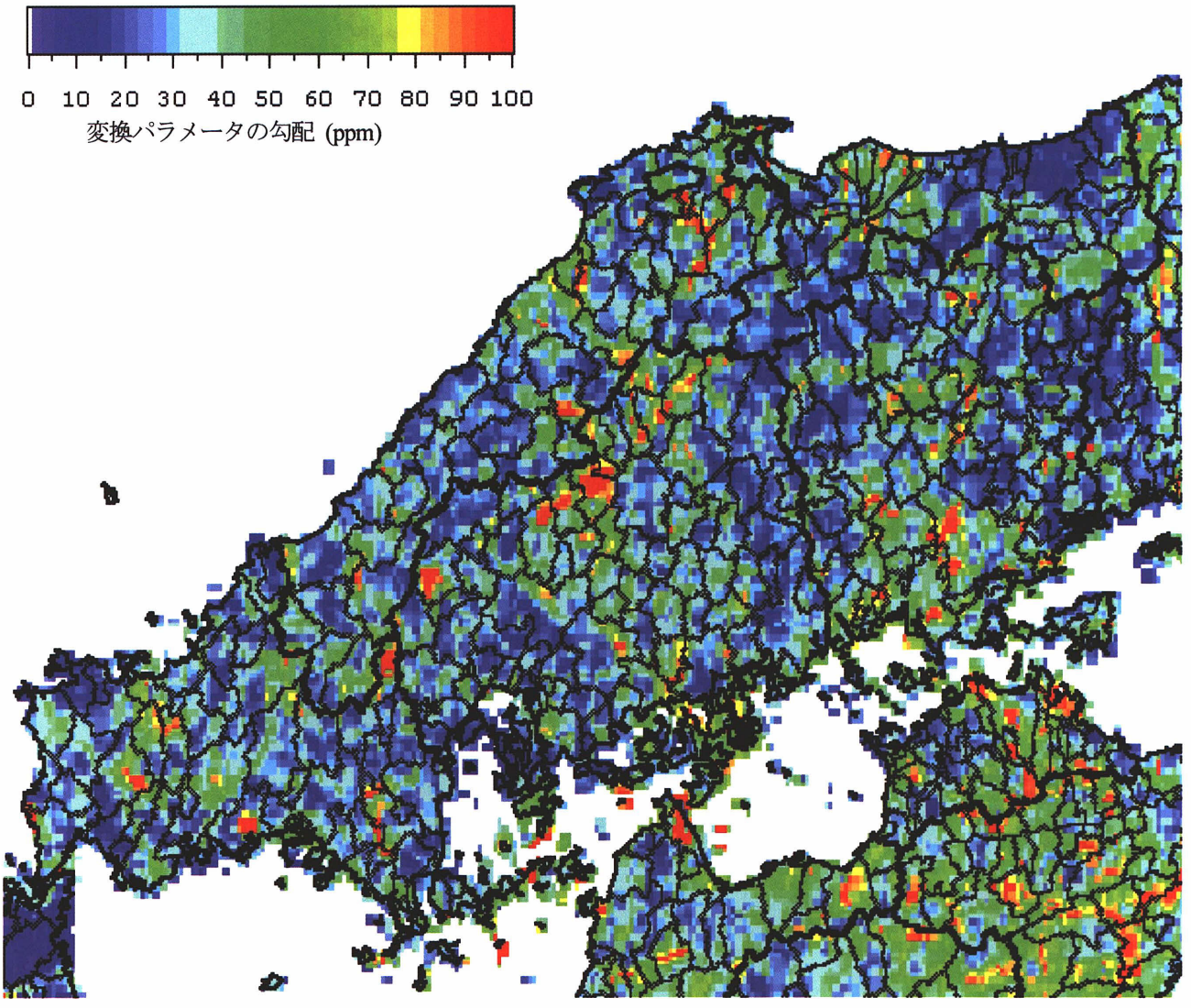
青，水色：高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。
緑，　　：要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。
黄色，赤：変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。

図－14　地域毎の変換パラメータ“TKY2JGD. par”の勾配二乗和根。中部地方。



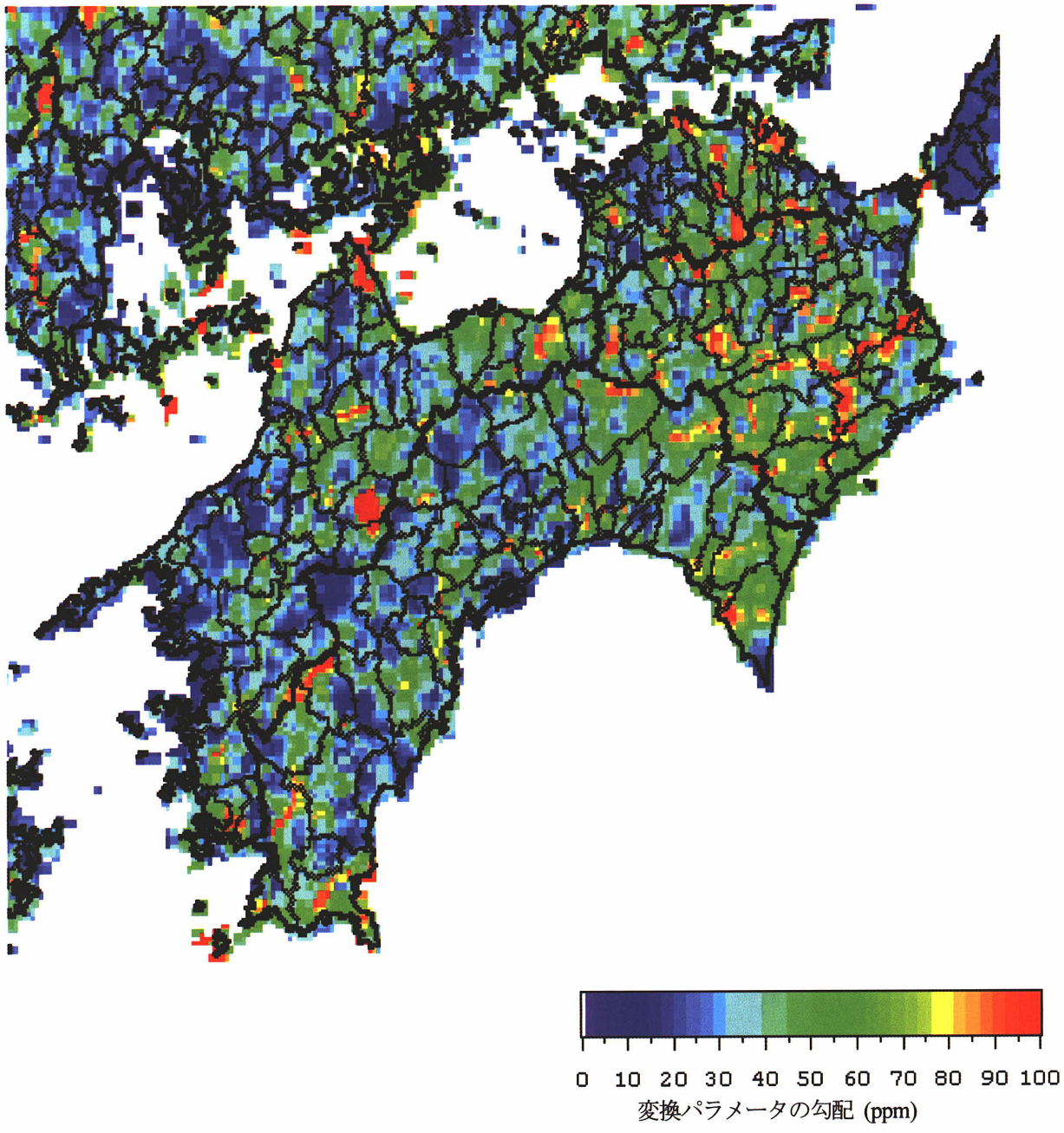
青，水色：高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。
緑，　　：要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。
黄色，赤：変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。

図－15　地域毎の変換パラメータ“TKY2JGD. par”の勾配二乗和根。近畿地方。



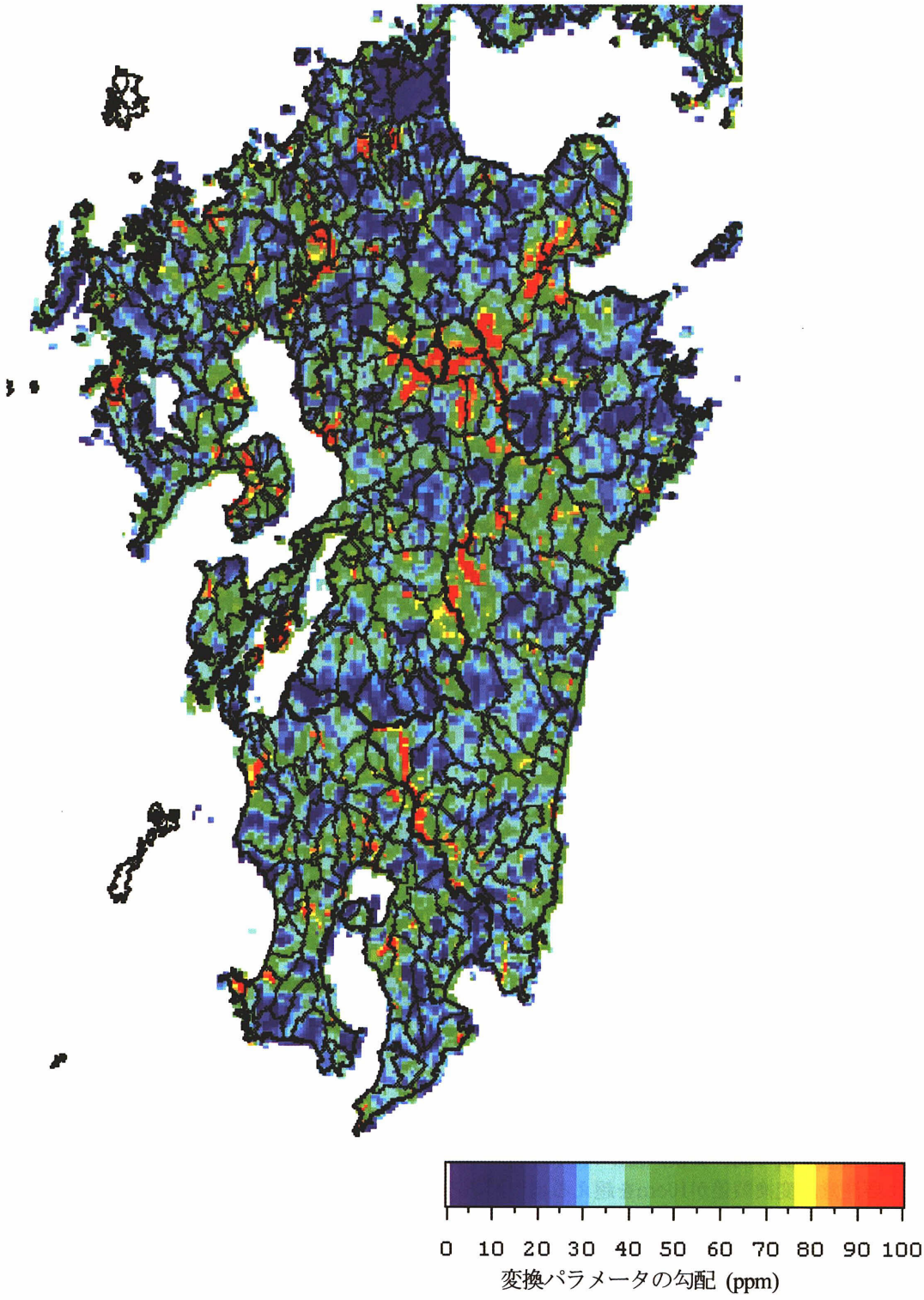
青，水色：高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。
緑，　　：要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。
黄色，赤：変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。

図－16　地域毎の変換パラメータ“TKY2JGD.par”の勾配二乗和根。中国地方。



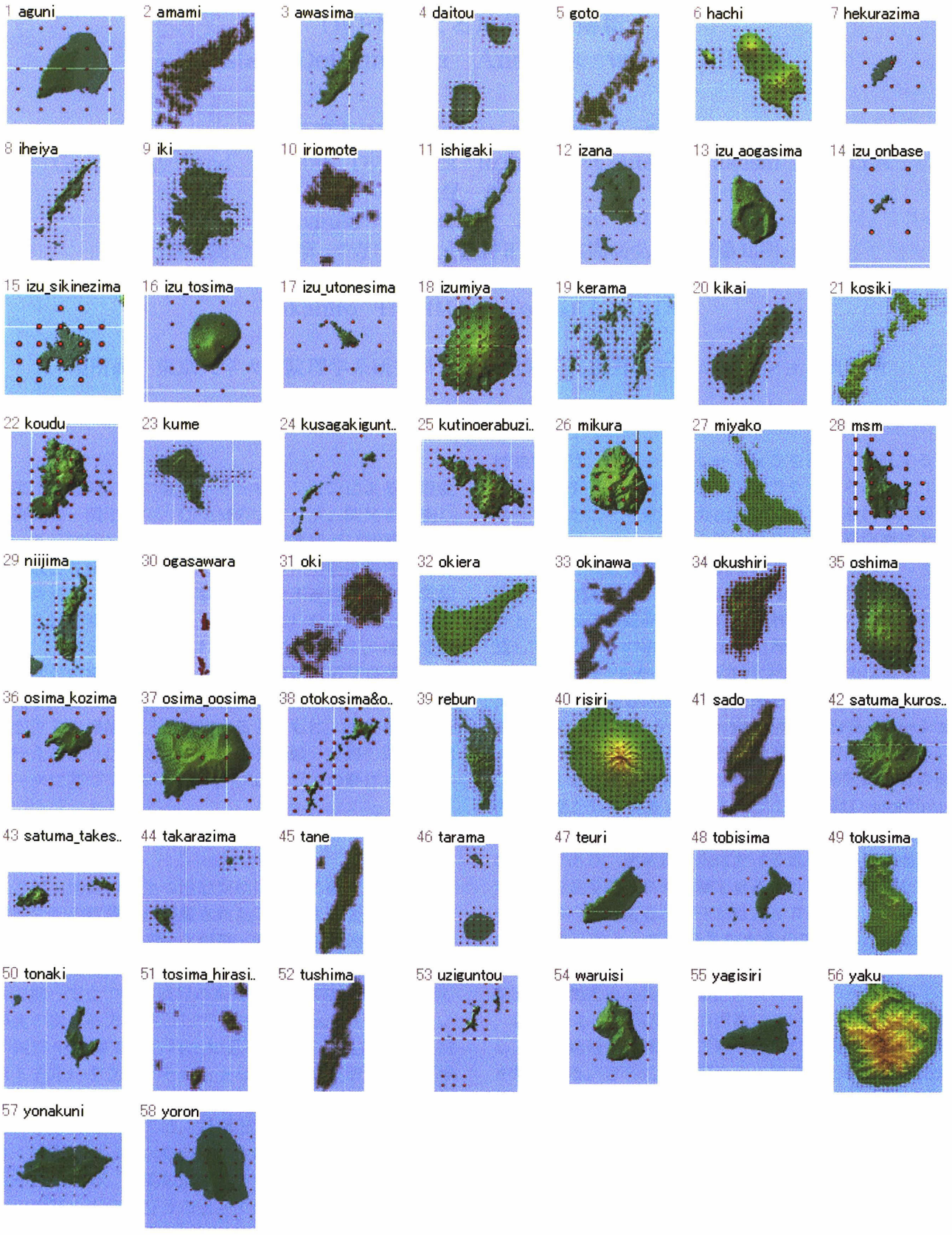
青，水色：高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。
緑，　　：要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。
黄色，赤：変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。

図－17　地域毎の変換パラメータ“TKY2JGD.par”の勾配二乗和根。四国地方。



青，水色：高精度変換可能。変換誤差が10cmを超える確率は低い。
緑，　　：要注意。変換誤差が10cmを超える場合がある。
黄色，赤：変換誤差が10cmを超える確率が非常に高い。

図－18　地域毎の変換パラメータ“TKY2JGD.par”の勾配二乗和根。九州地方。



図－19　58離島地域のTKY2JGD座標変換パラメータ分布。パラメータ総数13, 552点。画像の大きさを合わせるため，縮尺は離島によって異なる。図はカシミール３Dによって作成。