



ダイナミック測地座標管理システム

伊藤 広和¹・新出 陽平¹・田中 穰¹・荒木 春視¹・藤井陽一郎¹・里村 幹夫²
内海さや香²・請井 和之²・島田 誠一³

1. はじめに

GRID-JAPAN（位置情報基盤）¹⁾ 構想に基づき地理空間測位情報を有効に活用するためには、国際地球基準座標系（ITRF）に準拠した座標を4つの段階を経て管理してゆくことが必要である。第Ⅰ段階では「明確・簡易・利用しやすい・安価」な座標を目指し、第Ⅱ段階では「高精度・正確」な座標として管理する。更に、第Ⅲ段階では「最新のITRFに準拠した・座標変動速度を明示した四次元座標」を判断基準とする。これらの基準を満たした四次元位置座標は、高精度で正確さが保証される。そして第Ⅳ段階では座標とともに使用基準として、「観測期日と変動速度による予測使用期限」付きの情報の提供が求められ、その情報に責任を課すことが品質管理上一層必要となる。

こうした基準をクリアした情報により、過去や未来へのトレーサビリティが容易になる。そして地域への参加・参画の観点からは、安全・安心のための高精度高確度の位置情報を誰もが容易に利活用できるように、

産・官・学・民による情報の共有体制の構築を図ることが必要不可欠である。

そのため、まず最も重要な約1300点のGEONET位置情報を、ダイナミック測地座標管理システム²⁾（最新の地球中心のITRF座標系に準拠したIGS点を座標の基準とする）の基盤位置情報として扱うこととする。その具体的な方針は下記の通りである。まず（1）日本全体をカバーする電子基準点の座標を、地球中心を原点としたダイナミック座標に基づき高精度にもとめ、座標管理の基盤とする。次に（2）その速度を求めることにより、四次元座標の近い将来の座標の予測を可能にし、また、（3）測地成果2000（1997年値）など過去への変換も誤差制限を考慮しながら適用可能にすると共に、公共測量や位置情報等への対応も可能とする（図1）。これらを整合した位置情報基盤として、本稿では唯単なる四次元情報でなくGRID-JAPAN構想に基づいたダイナミック（四次元）座標管理システム³⁾としてその重要性を強調している。

地殻変動の激しい日本列島弧で正確な位置座標とその速度を迅速かつ高精度に決定することは、災害時や土地の診断などで、利用者にとって何にも増して重要である。

ダイナミック測地座標の利活用について、これまでに得られた結果を中心に報告し、今後の発展について述べる。



図1 ダイナミック四次元座標管理

2. ダイナミック測地座標管理システムの例

図2は日豊が実際行ってきたダイナミック

¹ 株式会社日豊

² 静岡大学理学部

³ 防災科学技術研究所



(a) 台湾新幹線



(b) 台湾新幹線（測量作業）



(c) 石岡トンネル



(d) 石岡トンネル（シールド）

図2 ダイナミック測地座標管理の例

座標管理の例である。ここではGEONETは使用していなかったが、全長5kmの石岡トンネルで出発地点から目的とする終端点の位置との出合い差を最小にするためGPSの観測データをIGS点に準拠させ最新のITRF座標によりその座標を高精度高確度に決定した。鉛直性に関するジオイドも吟味した結果に基づいて、光波やジャイロを用いて最終的に水平65mm、上下3mmの誤差でトンネルを通すことが可能となった。

地殻変動や地盤の上下変動を生ずる地域で100kmを越える新幹線のような長路線の場合には、長期にわたる作業のため速度の差が拡大することや、鉛直性に関する高さの問題やジオイド補正や地盤沈下などの監視のためにはダイナミック測地座標で管理することが有効と考えられる。

電子基準点の全国解析では、インテリジェ

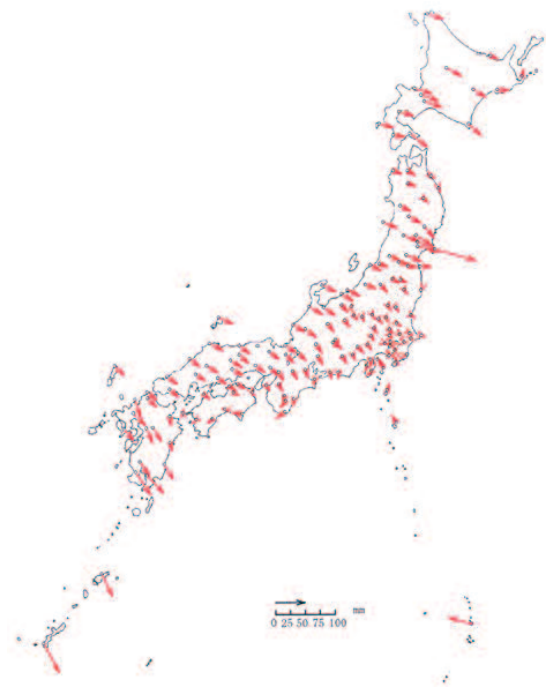


図3 2005年～2006年の変動量

ント基準点の利活用⁴⁾で、全国の電子基準点から150点を選び出し、座標とその変動量を

求めた。図3は2005年～2006年の1年間の水平変動量を示している。地震による大きな変動を除いた平均的な座標値と1997年値との比較ではその差がほぼ15mm以内に収まり、公共測量への適用が可能であることが示唆された。そこで、電子基準点の数を150点から約1300点に増やした解析の結果を報告する。

3. 最新のITRF基準系に基づく 四次元座標管理

日本全体の位置座標を高精度にダイナミック座標として管理するためには、IGS点に準拠してまず日本全国に配置されている電子基準点約1300点に関するデータの解析時期を統一した（時期化成という）同時網平均による解析が必要である

図4は今回の解析に使用した電子基準点を示す。使用したデータの期間は2007年の4月の1週間とその1年後の2008年の1週間である。座標を高精度に求めるため、マサチューセッツ工科大学とスクリプス海洋研究所により共同で開発された学術ソフトウェアのGAMITを使用した。このソフトウェアでは基線だけではなく衛星の軌道や気象のパラメータなども推定することができ、高い精度で座標を決めることができる。この解析を可能にしたのは

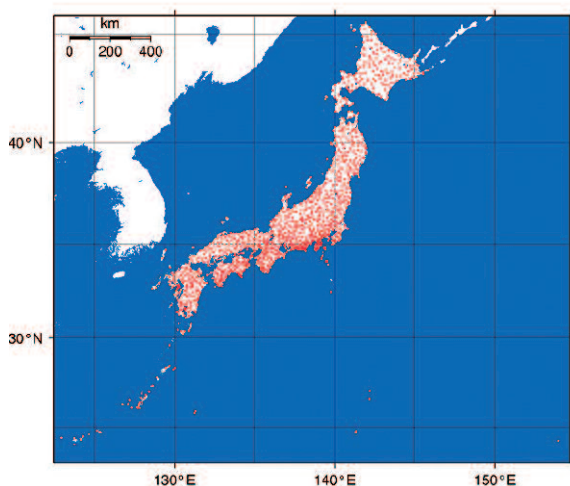


図4 電子基準点の配点図

島田（2008）⁵⁾の研究開発による。

次に解析の内容について説明する。日本周辺にある最新のITRFに準拠したIGS点を6点選びそれらの拘束を重くしてダイナミック座標を求める。IGS点とは国際GPS事業という国際機関で管理されている点で、世界に300点ほど分布しており、それらIGS点の座標値はわずか数mmの誤差精度内で決定され報告されている。用いた6点は日本周辺のロシア、中国、韓国、グアム、そして日本の筑波と臼田の計6点である（図5）。IGS点を使用することにより、任意の点での絶対座標を決めることができる。また衛星軌道の情報としてIGS精密暦を用いた。

解析するデータの量が膨大なため、今回の解析は静岡大学の協力（里村・他、2008）⁶⁾により行った。観測点の数が増えるとそれに伴い基線の数も指数関数的に増え、一度に1300点全部を解析すると、膨大な時間がかかってしまう。そのため1つのブロックを約40点として、機械的に39のブロックに分け、それぞれのブロックで順次解析を実施した。図6に全国を39のエリアにわけ、カラーで分けしたものを示す。core4のパソコンを使用

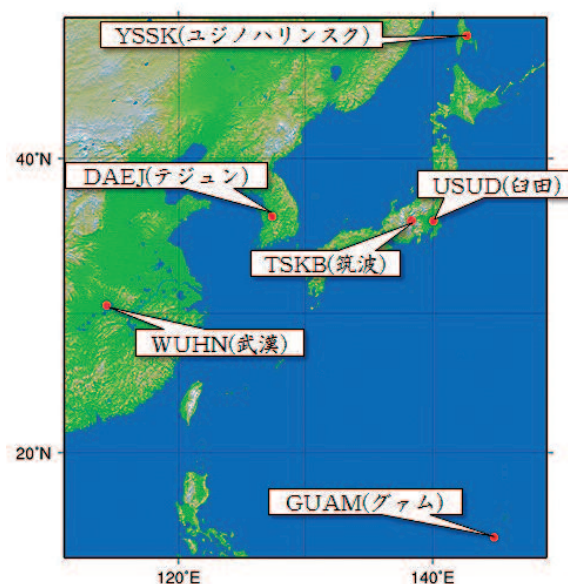


図5 IGS点の配点図

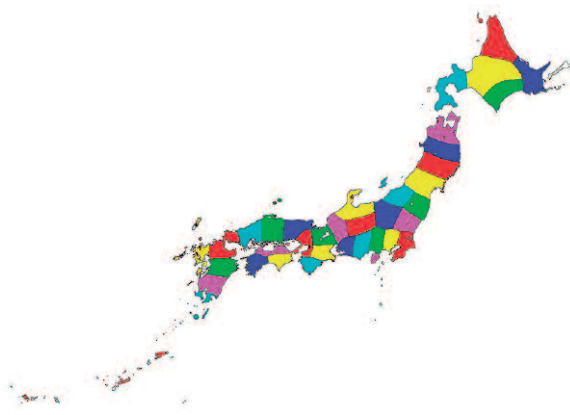


図6 全国の分割ブロック図

し、4ブロックを平行して解析を行った。その得られた結果を網平均し、2007年の座標値と、2008年の座標をそれぞれ計算した。そして2008年値から2007年値を引いて2007年から2008年の変動量を算出した。

解析に要した時間はCPU約2GHzのcore4のパソコン1台で1セッション当たり約1時間かかった。4セッション並行に解析すると約1300点の1日のデータを解析するのに要する時間は約10時間である。全国のITRFに準拠した高精度高確度なダイナミック測地統一成果がこれで決定できた。この成果を基盤成果として活用することにより、任意点においても今後迅速な活用が可能となった（新出・他、2008）⁷⁾。

4. 神奈川川崎とその周辺の座標比較

点数が多いためここでは例として2007年の川崎周辺の解析結果のみ示すこととする。地心直交座標系のXYZとその標準偏差で、数値

は一週間のデータから求めた値となる。表1に求めた座標とその標準偏差を示す。これらの標準偏差を単純に平均すると約1.2mmとなった。

5. 東海地域の例

次に今回解析した結果と静岡大学の東海地域における研究結果との比較をした。静岡大学では東海地域におけるGPSを利用した地殻変動の研究（内海、2007）⁸⁾が行われており、今回解析した結果とその研究成果にある座標のうち、同じ箇所の電子基準点約35点を比較した結果、その差は約1cmとなった（表2）。解析値に1年の差があるので、今後変動速度を精度良く決めることでこの差が縮められ、更に正確な座標値を決定できると考える。

6. 日本全国の変動の例 ～中越沖地震による影響

図7は電子基準点約1300点の水平成分の変動をあらわしたベクトル図である。2008年の値から2007年の値を引いたもので、矢印の方向が2007年から2008年の変動方向を示し、矢印の長さがその変動量を示す。沖縄では約5cm、昨年地震のあった新潟では20cm以上の大きな値となった。全ての点を表示すると見づらいため、図8に関東、中部地区を拡大して示す（図8）。矢印のスケールは右下の5cmである。新潟や太平洋側で大きな値がみられるが全体としてはプレート運動による地殻変動の様子がよく見られる。

表1 解析した座標値の例（川崎周辺）

番号	X (m)	Y (m)	Z (m)	σX	σY	σZ
93026	-3960012.111	3361502.110	3688920.228	0.0013	0.0010	0.0011
93027	-3999253.931	3318094.962	3685920.998	0.0014	0.0011	0.0012

表2 浜松（93054）の座標値の比較

	X	Y	Z
日豊	-3884796.226	3532757.334	3608545.895
静大	-3884796.232	3532757.335	3608545.893
日豊－静大	0.00546	-0.00064	0.00204

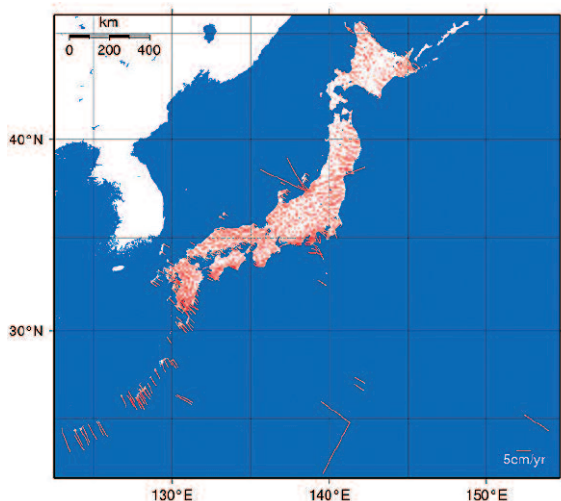


図7 2007年～2008年の変動（水平成分）

図9は上下成分である。赤が上方向、青が下方向を示す。北海道では隆起、その他の地域では沈下の傾向が見られる。関東～中部～近畿のGEONETによる結果（国土地理院、2008）⁹⁾では大潟固定のため大潟に相対的に隆起になっている。一方、本結果では逆に沈降になっているので、IGS点に準拠した相対的変動のため上下の変動については分解能がないのかが今後の調査課題である。

7. 結 論

今回約1300点の電子基準点を約10時間で解析することが可能となった。そして求めた座標の標準偏差は約1.2mmが検出された。1mmに近い精度で求められた理由として、衛星軌道情報の飛躍的な精度の向上が考えられる。最新の国際的精度基準である「1mm Geodesy」に近づいた結果が得られた。

今後の方針は、GAMITだけでなくBerneseも使用した解析結果の検証をする。また過去5年以上の電子基準点を解析することで高精度な変動速度を決定しダイナミック測地座標管理の整備をしていく。また安全・安心のまちづくりでは位置情報に係わる問題として土地の診断のほか、通路等の段差解消は老人や車椅子の人たちも含めたハンデキャップの

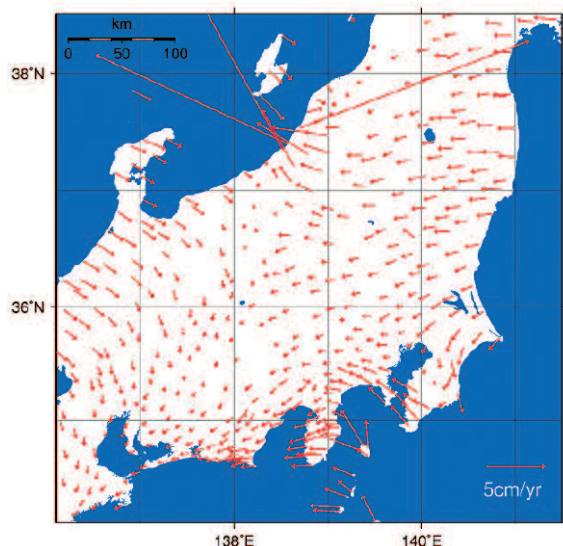


図8 関東・中部地域の変動

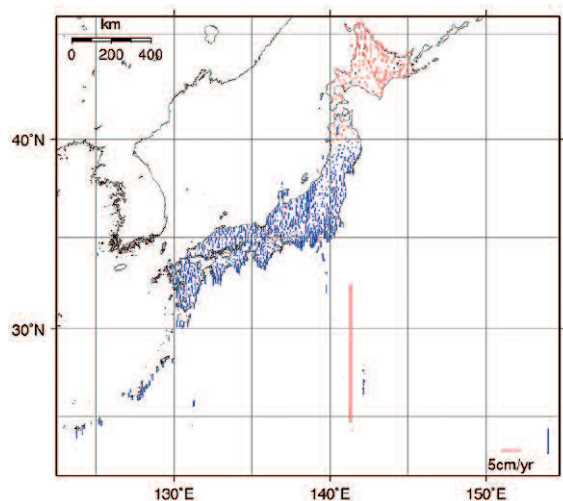


図9 2007年～2008年の変動（鉛直成分）

ある人々から2cm以下が叫ばれ、それに対処することが必要な時代に成っている。そしてICタグへの活用や携帯電話など、分野を問わず今後生ずるであろう±1cmオーダーのさまざまな問題への利活用のためにはダイナミック測地座標管理システムが必要となる。

上記を踏まえながら、本結果は、地図基盤情報の整備に併せて、その裏版としてそれらに高精度高確度の位置情報を付加することにより一層の更なる利活用が教育上のGISのためにも必要不可欠であることを指摘するものである。ユーザーの方々が±1cmの高精度位置四次元情報を使って各種調査を図上で展開

できる時代が間もなく来ると考えられる。これらへの整備が今後の発展のために必要不可欠と考える。

8. 謝 意

今回の解析には国土地理院の電子基準点のデータを多数使用させていただいた。日ごろのご指導とあわせ、深く感謝の意を表する。

発表日：2008年6月18日

■参考文献

- 1) 国土地理院技術協議会基準点体系分科会(Ⅲ)：ダイナミックな測地基準点体系の実現に向けて一変動する国土と人々を結ぶ位置情報の基盤—(GRID-JAPAN)、基準点体系分科会(Ⅲ)報告書、pp1-48、2003年5月
- 2) 藤井陽一郎、里村幹夫、島田誠一、中尾茂：ダイナミック測地座標管理システムの開発、日本測地学会110回講演会要旨集、pp25-26、2008年10月、於函館
- 3) 伊藤広和、新出陽平、田中穰、荒木春視、藤井陽一郎、里村幹夫、内海さや香、島田誠一、請井和之：ダイナミック四次元座標管理システム、第30回測量調査技術発表会、測量技術発表・ワークショップ要旨集、pp30-31、〈地理空間情報フォーラム2008〉、2008年6月18日、於パシフィコ横浜
- 4) 波田太至、新出陽平、荒木春視、藤井陽一郎、田中穰、細井幹広、曾根田馨：インテリジェント基準点の利活用(未来型測量システム)、先端測量技術 No.93-4、pp38-48、2007年1月
- 5) 島田誠一、新出陽平、伊藤広和、荒木春視、里村幹夫：GEONET全点連日自動解析システムの開発、日本測地学会110回講演会要旨集、pp83-84、2008年10月、

於函館

- 6) 里村幹夫、請井和之、杉田知大、濱啓恵、島田誠一、新出陽平、伊藤広和、田中穰：東海地方の短期的スロースリップ時のF2解とダイナミック測地座標解の結果の比較、日本測地学会110回講演会要旨集、pp77-78、2008年10月、於函館
- 7) 新出陽平、伊藤広和、田中穰、荒木春視、藤井陽一郎、平野優：任意のGPS測位点におけるICタグ用四次元座標の管理、先端測量技術、投稿中、2008年
- 8) 内海さや香：稠密GPS観測による東海地域の歪解析、静岡大学大学院理工学研究科修士論文、pp1-25、2007年2月
- 9) 国土地理院：東海地方の地殻変動、地震予知連会報、80巻283-342、図35、2008年

■発表者

伊藤 広和 (いとう ひろかず)

所属：株式会社日豊

E-mail：h-ito@nippo1.co.jp

本稿は2009年6月18日 第30回測量調査技術発表会での発表をもとに執筆されたものです。