



インテリジェント基準点の利活用 (未来型測量システム)

波田 太至¹・新出 陽平¹・荒木 春視¹・藤井 陽一郎¹・田中 穰¹ 細井 幹広² 曾根田 馨³

1. はじめに

現在日本各地に配置されている多くの基準点は精度の高い位置座標を持っているが、その位置は、プレ・ト運動等の影響により年々変動し10年以上年数が経つと新旧位置座標の差が、場所によっては、所要精度上無視できないほどの座標差となってしまう場合も生じている。

そのため、境界確定や特定する場所のIDには、位置の変動速度も考慮した高精度位置決定が重要課題となっている。

そこで、最新のITRF座標(現在はITRF2000とする)を基に全国150箇所における電子基準点の高精度位置とその変化率の検出を試みた。検出された高精度位置と今後の数回以上にわたる変動の検出から実際の速度情報を決定し、必要な情報も加えて、読み取り書き込み可能なICタグリーダ・ライターにより、インテリジェント基準点等に設置するICタグへ迅速に入出力ができれば、実用段階への汎用利活用が一気に加速されると期待される。

インテリジェント基準点構想は既に国土地理院により報告されている(例えば、大滝三夫、2005)が、ここでは汎用利活用に関わる基準点測量の枠を超えた「未来型測量システム」の第一歩として、実用段階に進めるための基本構想について報告する。

本構想は(1)全国における高精度位置とその変化率決定(2)基準点用ICタグの開発

とリーダ・ライターによるデータの入出力(3)今後の汎用利活用、について述べる。

2. IGS点の座標

全国における高精度位置決定に必要なIGS点とその位置座標については、IGS点を利用した全国の空港における高精度位置座標管理の例は藤井・他(2002)により報告されている。

IGS点は国際GPS事業(International GNSS Service, IGS)による学術用の全地球GPS衛星追跡システム運用を目的とした国際機関により管理されていて、全世界に300点以上分布している。IGS点の世界測地系の位置は誤差5mm以内の座標値と誤差0.2mm/y以内での変動速度ベクトルも表示されており、これらはインターネットで取得でき、任意地域において観測時期に化成した地心座標からの座標が決定できる。そこで各電子基準点の経年変化を検出するために、日本周辺のIGS点としてtskb(日本)、usud(日本)、daej(韓国)、wuhn(中国)、guam(米国)、yssk(ロシア)の6点を選出した。その配点図を図.1に示す。

IGS点の座標は表.1に示すように、例えば、2005年4月1日では

$$\begin{aligned} (\text{求める座標}) &= (X, Y, Z) + (v_x, v_y, v_z) \\ &\times (2005 + 91/365 - 1997) \end{aligned}$$

で与えられ、通算日で91日は4月1日となる。(v_x, v_y, v_z)は座標変動速度(m/y)である。dN、dE、dUはそれぞれ、北向き+、東向き+、上向き+の補正量で、約8年間の変動補正量はtskb(日本)usud(日本)

¹ (株)日豊

² アイサンテクノロジー(株)

³ (株)カクマル



図1 六つのIGS点の配置

表1 ITRF2000に基づくIGS点の座標（橙表示）
（X,Y,Z（青表示）およびその変化率Vx,Vy,Vz（赤表示）計算式（黄色）を示す）

IGS局の座標(ITRF2000)						
1997	X (m)	Vx (m/y)	Y (m)	Vy (m/y)	Z (m)	Vz (m/y)
YSSK	-3465320.7980	-0.0213	2638269.4000	-0.0033	4644085.4930	-0.0125
TSKB	-3957199.2400	-0.0012	3310199.6680	0.0073	3737711.7080	-0.0087
USUD	-3855262.9980	-0.0043	3427432.5190	0.0048	3741020.3620	-0.0051
DAEJ	-3120041.7780	-0.0246	4084614.9700	-0.0146	3764027.0060	-0.0176
WUHN	-2267749.1620	-0.0325	5009154.3250	-0.0077	3221290.7620	-0.0119
GUAM	-5071312.8000	0.0042	3568363.4920	0.0105	1488904.3160	0.0030
座標=(X Y Z)+(Vx Vy Vz)×(2005+91/365-1997)						
	X (m)	dN(m/y)	Y (m)	dE(m/y)	Z (m)	dU(m/y)
YSSK	-3465320.9737	-0.0195	2638269.3728	0.0155	4644085.3899	0.0011
TSKB	-3957199.2499	-0.0104	3310199.7282	-0.0048	3737711.6362	-0.0006
USUD	-3855263.0335	-0.0080	3427432.5586	-0.0007	3741020.3199	0.0021
DAEJ	-3120041.9809	-0.0162	4084614.8496	0.0284	3764026.8608	-0.0078
WUHN	-2267749.4301	-0.0136	5009154.2615	0.0327	3221290.6638	-0.0006
GUAM	-5071312.7654	0.0022	3568363.5786	-0.0110	1488904.3407	0.0032

guam（米国）に較べてユーラシアプレート側の変動が若干大きいことが分かる。yssk（ロシア）、daej（韓国）、wuhn（中国）の変動は南方ほど値が大きくなる傾向が見られる。

3．全国における基準点の高精度位置決定
全国における電子基準点の高精度位置決定とその変動の検出は、国土地理院により地震

予知連絡会報などで、その都度、報告されている。そこでは、新潟県の上越市北方にある大潟（国土地理院、2004）や青森県西部の深浦南方にある岩崎（国土地理院、2006）を不動に変動量の検出がなされる一方、基準点の高精度位置決定は、全国の位置基準をITRF94に基づく1997年値に基礎を置き、最近のGPS観測値から検出される補正値を加えてその時点における座標を決定している（測地成果

2000、国土地理院、2003）。逐次的に累積する変動量の検出は比較期間が短いためトレースが可能であるが、座標値の決定は年数が10年以上のかなり経過した段階での1997年値に基づく検出のため、当時の初期値が有する許容範囲内の誤差と日本列島弧の変形による経過段階で生ずる誤差（回転や並進やスケールや伸縮による誤差）などが累積し拡大する恐れがある。これらの影響を小さくするためには、ある一定の年数毎に変動速度を求め、旧水路部のスタ - カタログのような、あたかも銀河面にあるスターを地表の基準点に見立てたような、基準点カタログを、その都度、最新のITRF座標系に準拠した学術成果扱いで作成する必要がある。

そこで、日本列島周辺のIGS点の座標に準拠した国内座標値を最新のITRF座標系、ここではITRF2000に基づき、1997年の座標値に必要な期間までの速度倍した補正値を加えてIGS座標を決定し（表1）それを基に全国における基準点の座標値をもとめることにした。この方法により、いつでも、どこでも座標のトレーサビリティが世界測地系上で、学

術成果扱いで可能になると考える。そのためには、安心安全を考慮した開放型の民間利活用型の組織が必要となろう。

4．全国150点のGPS観測点配置と網平均解析

今回のシステムは国内を含む日本周辺の6箇所のIGS点に準拠した国内150点の国土地理院の電子基準点との座標整合が基本になっている。

全国150点の選点要件は、各県に県庁所在地を含む少なくとも1点以上選ぶこととし、特別な変動監視を要する地域なども選ぶこととしている。地震で座標は変わるが水平変動速度ベクトルは殆ど変わらない。今回は試験的に150点選定し、座標値を決定した。

観測条件はGPSのデータサンプリング30秒、衛星最小高度角5度、衛星軌道情報はIGS最終精密暦、既知点として先述の6IGS点、観測点は国土地理院の電子基準点150点である。観測データは24時間連続観測データで、2005年4月1日と2006年4月1日の2日である。このため、観測データそのものに1日観



図2 全国網平均のための4分割地域

測で生ずる ± 1 cm程度の誤差を有する。

基線解析はGAMIT10.2のソフトウェアを使用し、拘束条件として、水平1 cm、高さ2 cmとし、日本全国を北海道と東北、関東と新潟長野、中部と関西と北陸、中国と四国と九州の4ブロックに分け(図2)、カルマンフィルタ - (GLOBK) によりブロック毎の最小二乗解の結合を行ない、各地域における重複する地域では重複点を2点として接合をした。

5. 国内150点における二時期の座標変動(変動速度ベクトル)

先述したように、ITRF2000に準拠し時期化された6箇所のIGS点のXYZ座標を基に網平均計算により国内電子基準点GPS150点の2005年4月1日座標値を決定し、同様に2006年4月1日値を算出した。二時期における水平位置変動量を図3に示す。

宮城県沖のMw7.2地震などによる大きな変動を除くと全国の座標はほぼ制限内の2 cm以内に収まっており、異なる網間の接合問題も解決した良好な結果となっている。また、父島～始良間VLBI結果(国土地理院、2005)の概ね-7cm/yrとは一致しており、GPSによるスケール誤差も消えているので、全国土地のIDを特定することができたと考える。

IGS点を使用している国内基準点データの取り込み方、時期、期間で若干異なる結果になる。年変動ベクトルは日本のような変動帯では測位点の環境条件や誤差精度を見極めながら判断することが必要である。特にIGS点使用の場合には超長基線スケール尺で短いスケール場を測定し、何通りかで平均するわけだから、大きいところで符号しても局所場では若干ゲタをはき一致しないところも周辺部で生じてくる。しかし、この場合には解析した信頼楕円に基づいた誤差の精度を見極めることが必要で、誤差の範囲内ならば結果は



図3 座標変動量

良好ということになる。

例えば、tskb(日本)は表1からほぼ南南西の水平11.18mm/yの変動(南10mm、西へ5mm)である。また、つくばVLBI局は南南西9.53mm/yの水平変動(南へ8.7mm/y、西へ3.9mm/y)で差は1.65mm/yであった。ところが、図3では、図から東南東へ約10mmの変動になっている。これはtskbの固定による北北東への11mmの変動のため実際の変動は南南東へ15mm近い変動をしておりこれと重ね合わせるので網平均した結果、東南東へ約10mmの変動になったと考えられる。参考として、usudは南南東へ13mm/y程度、変動していることが示唆される(防災科学技術研究所、2006)。

本稿の座標変動は上記のことを考慮しつつも20mm程度の誤差を有する結果である。

全国の基準点座標がこれで接合問題などなくなり、いつでも、どこでも20mm以内の精度で土地のID化が可能になったことを示している。



図4 (株)カクマル社製基準点用ICタグ

6. インテリジェント基準点用ICタグ

ICタグは無線通信を利用した非接触型の認識技術で、無線の送受信機能を持つリーダーと電波を受けるICタグから構成され、無線機能により、内蔵の微小ダイポールアンテナにより電波を受信し、発信するパッシブタイプと自身で電波を発信するアクティブタイプに分類される。

これらの利用は電源としての内蔵電池の有無やその消費効率や通信距離等により異なる。

今回開発した基準点用ICタグは(株)カクマル製で縦13mm×横13mm×厚み8mmでパッシブタイプのもので、電池は内蔵せず、通信距離も非常に近距離なものになるが、半角約2000文字書き込み可能で、基準点の識別用に使われる。これを図4に示す。

7. 基準点用ICタグからの情報取得と更新

インテリジェント基準点に併設するICタグとの情報交換で使用するi-toolは、図5に示す富士通製RFIDリーダー/ライターによるICタグへの書き込み情報の取得・更新をパソコン



図5 富士通製RFIDリーダー/ライター

上で可能にするシステムでアイサンテクノロジー(株)による。これを図6に示す。

測量システム、観測システムで作成された座標データは、SIMAファイルでi-toolに転送される。SIMAファイルの持つ座標データ、点名、XYH座標値と、座標から計算されたBL値が登録される。

次にインテリジェント基準点ICタグに書き込む情報として、設置日、所在地、設置管理者等の情報を追加する。接続したICタグリーダー/ライターをインテリジェント基準杭のICタグに近づけ、書き込みボタンをクリックす

れば、データの書き込みが完了する。読み込みは、同様に読み込みボタンをクリックすればデータの読み込みができる。例を図7に示す。

読み込まれたデータはSIMAデータとして出力する事が出来るため、測量、観測システムへデータを転送し利用することが出来る。現在日豊では変動速度等を試験的に記入し使用している。

インテリジェント基準点杭ICタグを図8に示す。試験的運用事例として、ICタグを標石の側面に埋め込んだものと、金属標にICタグを埋め込んだものを使用し、前者は多摩川河川敷で、後者は早野聖地公園で使用した。一例として図9に示す多摩川河川敷では埋設場所は多摩川河川敷坂路のキ口標1.6km付近に埋設し、基準点の位置を確定するため実験測量を実施した。簡便、迅速、確実に効率よく実



図6 アイサンテクノロジー（株）製のi-tool

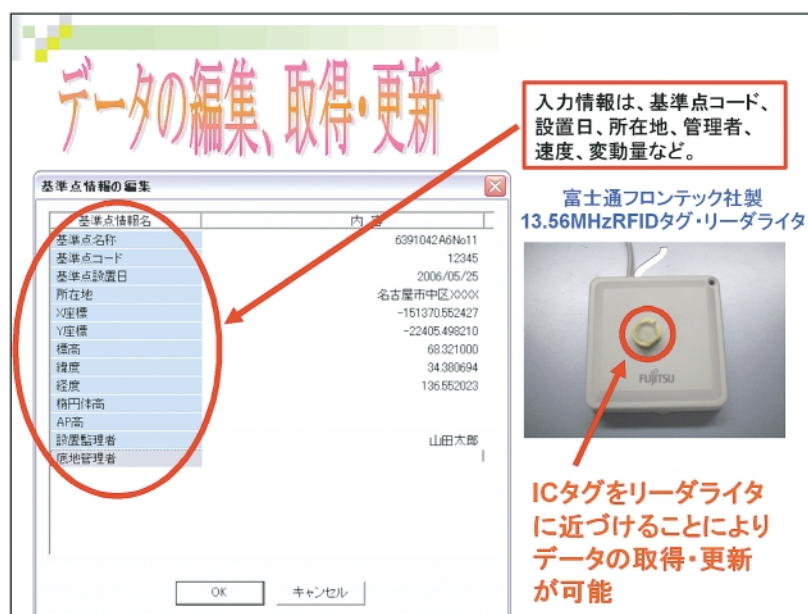


図7 データの編集、取得・更新の例



図8 インテリジェント基準点のICタグ



図9 多摩川河川敷における測量実験

験は完了した。

サーバーを利用したアプリケーションイメージを例として図10に示す。

8. 基準点用ICタグの安全対策

インテリジェント基準点に併設したICタグは、利活用するに際してセキュリティ上の問題がある。以下に次のような順で概説する。

() ICタグへの攻撃、() サ - バ構築によるデータの保護 () セキュリティ対策 ()

具体的対策

() ICタグへの攻撃

ICタグへの攻撃では下記の「物理攻撃」「電波的攻撃」「論理攻撃」の3点が指摘される。

(1) 物理攻撃

「物理攻撃」は主にタグやリーダ/ライターといった、ハードウェアに対する攻撃で、具体的にはタグのチップ、アンテナ、リードノ

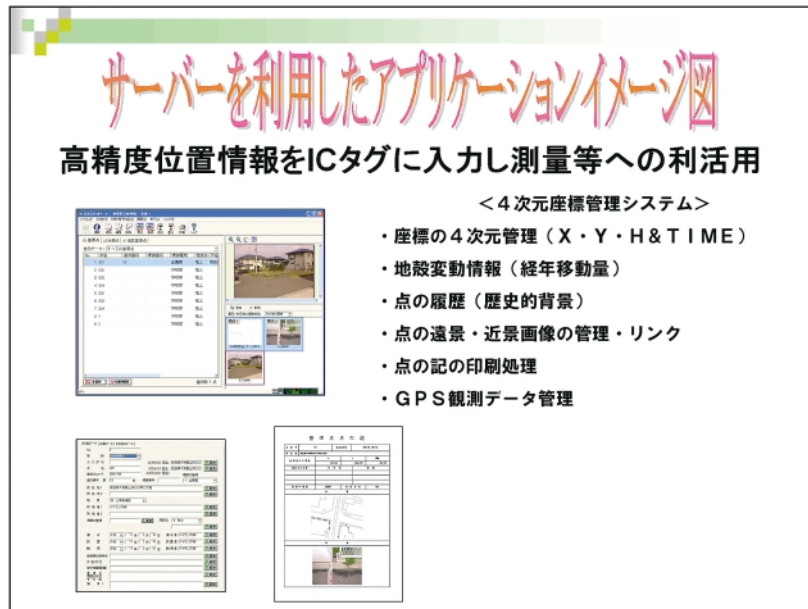


図10 サーバー利用によるアプリケーションイメージ

ライター破壊等が考えられるほか、タグを剥がすなどの行為自体が攻撃となる。リーダはタグの近くでなければ読み取れないため、タグの位置は明確化しやすく、どうしても物理的に脆弱になる。

「物理攻撃」への対応として、タグを製品に埋め込み、露出しないようにする事が重要である。インテリジェント基準杭では設置位置の環境より人為的攻撃よりも、自然脅威にさらされる関係から、耐食性の面からセラミックコーティングされており、耐衝撃性も通常のタグより設定を高くしている。

(2) 電波的攻撃

「電波的攻撃」は、妨害電波を発信するなどの行為であり、目視が困難であるため、見えないところからの攻撃、遠隔攻撃が可能であり、起りうる攻撃としては通信プロトコルに直接介入される危険性もある。

インテリジェント基準杭で採用されたRFIDは非常に短距離でしか、反応しないため、電波的攻撃に関しては高い耐性がある。しかし、ユビキタス、ユニバーサル方面で利用するための、ある程度の長距離通信可能な

RFIDを利用する場合には周波数ポッピングによるノイズの体制向上などの対策が必要になる。

(3) 論理的攻撃

「論理的攻撃」は、サーバやデータベース、タグに入っているデータに対する攻撃が挙げられる。IDやデータ構造、タグに書き込まれているデータを改竄したり、強制的に読み取ったりする攻撃が考えられている。

() サ - バ構築によるデータの保護

この対策には、固定IDによる永久書き込み不可能なタグを用いてサ - バでのデータ管理を利用することが一般的である。しかし、この方法で解決するのは、データの改竄、消去のみであり、実際の攻撃として、タグのデータを複製し、複製したものをばら撒くことによるデータ信憑性の破壊などが考えられる。またリーダになりすまして、データベースサーバーにDOS攻撃(大量のデータを送り込む)によって動作出来なくなるようにする等の攻撃も考えられる。その他、インターネット等の環境が利用できないと、データが利用できないということは、接続速度等によるレ

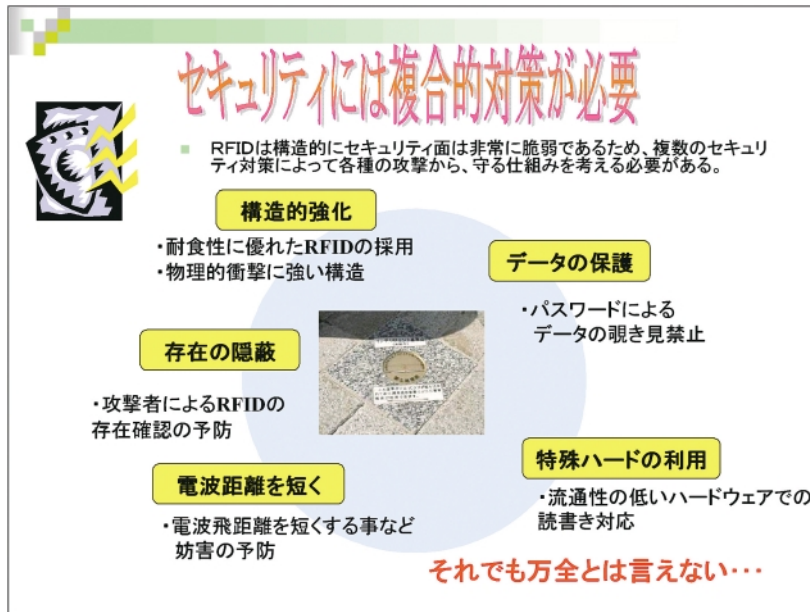


図11 セキュリティに関する複合対策の模式図

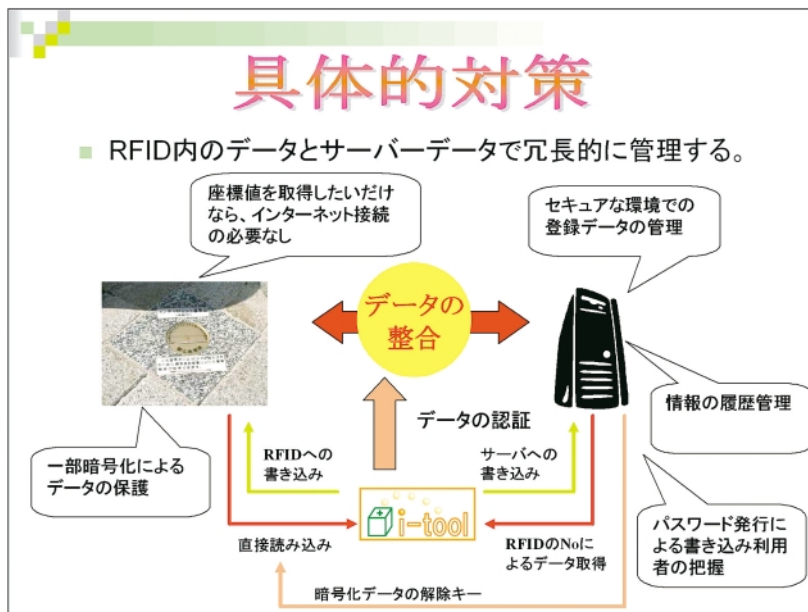


図12 セキュリティに関する具体的対策例

スポンスの低下、あるいはインターネットの接続できない状況、

例えば災害時等では利用不可能になるケースも考えられ、セキュリティと利便性のトレードオフを考える必要がある。

() セキュリティ対策

インテリジェント基準杭の完全なセキュリティ確保は非常に困難であるが、情報の改竄、消去等を防ぐセキュリティ側面と同時

に、運用による復旧性を重視し、実用面でのリスクを最小限にする必要がある。そのためには、攻撃に対する発見性の向上と復旧性の素早さが重要に成る。

セキュリティ対策は図11に示すように、安価なICタグはセキュリティ面が非常に脆弱であり、単一の方法、決定的な対策が無いのが現状であるが、情報の保護レベル、利用性、機密性を考慮してセキュリティを考える必要

があり、複合的な仕組み作りが必要である。

() 具体的対策

セキュリティの具体的対策としては、図12に示すように、RFIDのICタグ内部の読み込みデータと、サーバデータのi-toolによる突合せによるデータ認証と、異常時のサーバデータによるデータの更新機能が考えられる。ICタグ内のデータとサーバデータを冗長に管理することで、運用面でのデータ信憑性を向上させると同時に、単独利用による利便性を考慮しつつ、データの暗号化による機密データの保護が必要であると考ええる。

9. 今後の課題と展開

日本列島に測量インテリジェント基準点を設置し、測量での利活用のためICタグを埋め込み、基準日の緯経度、地心座標、座標変動速度等を記録させ、作業時間短縮、精度向上、並びに経費削減等を図る事が大事である。又、土地のID情報化のため約1cmの位置座標の高精度化を図ることが必要と考える。

ICタグ情報そのものは測量以外にも、今後の利活用で個人レベルの生活にまで深く浸透

していくと予測される。

特に、高精度位置を発信するアクティブ型ICタグ情報の利活用は自動運行や児童の登下校の監視や徘徊老人の高精度探索などの分野で安心安全に係わる重要な課題になろう。GISの一層の進展や個人認証レベルでのICタグの高精度位置決定が極めて重要になると考える。ICタグ位置情報そのものが情報として価値を持つので、インテリジェント基準点測量とは別の次元で利活用に向かって異なる道へ翼を拡げはじめたことを意味するので極めて重要である。基準点測量とは別にICタグ測量が誕生することが期待される。その概略図を図13に示す。同時にそれらに基準を与えるインテリジェント基準点測量の高精度位置決定とその変動速度の検出が何にも増して重要課題になると考える。

いつでも、どこでも、誰でもが、安心・安全を考慮しながら生活を享受できるよう、開放型の民間利活用組織、例えば(財)日本測量調査技術協会の位置計測部門に審査検定組織を設けることも、ICタグ測量の今後の進展と重要性を考えると、より一層の必要性を増

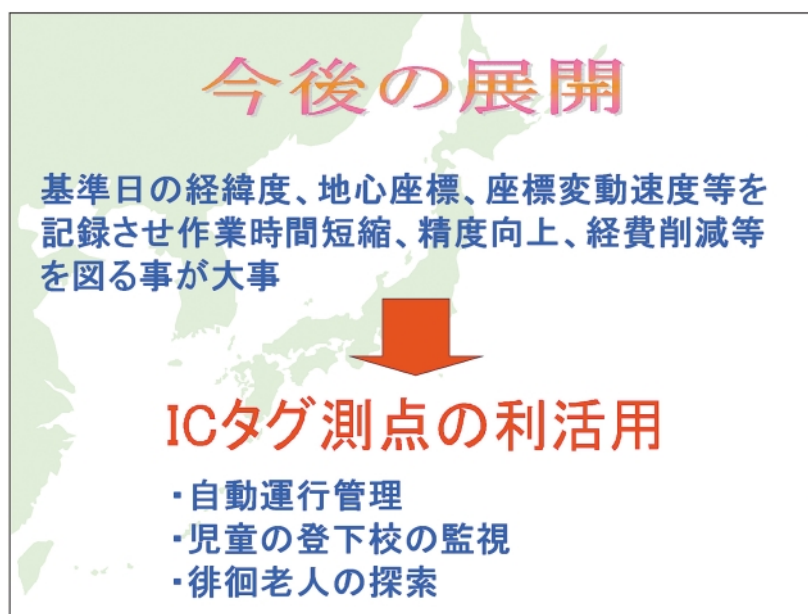


図13 高精度位置を有するICタグの今後の活用

すと考える。

本研究については、国土地理院近畿地方測量部防災情報管理官大滝三夫氏のご指導ご鞭撻による。厚く謝意を表します。

(発表日2006年7月7日)

■ 参考文献

- 1) 大滝三夫：インテリジェント基準点（講演会資料）国土地理院近畿地方測量部、p1～12、December、2005
- 2) 藤井陽一郎、田中耀、荒木春視：IGS基準点を利用した超長基線GPS測量の実用化例、APA No.82-17、p113-123、September、2002
- 3) 国土地理院：測地成果2000構築概要、国土地理院技術資料B-5、No.20、2003年3月25日
- 4) 国土地理院：全国の地殻変動、地震予知連会報、第72巻、6-40、2004（大湊固定）
- 5) 国土地理院：全国の地殻変動、地震予知連会報、第75巻、4-15、2006（岩崎固定）
- 6) 国土地理院：測地VLBI観測（国際・国内超長基線測量）地震予知連会報、第74巻、556-560、2005
- 8) 防災科学技術研究所：ITRF2000座標系での東海地域の異常地殻変動について、地震予知連会報、第75巻、380-384、2006

■ 発表者紹介

波田 太至（はだ ふとし）

所属：株式会社日豊

E-mail：f-hada@nippo1.co.jp

■ 共著者紹介

株式会社日豊

新出 陽平（しんで ようへい）

y-shinde@nippo1.co.jp

荒木 春視（あらき はるみ）

h-araki@nippo1.co.jp

藤井 陽一郎（ふじい よういちろう）

y-fujii@nippo1.co.jp

田中 穰（たなかみのる）

j-tanaka@nippo1.co.jp,

アイサンテクノロジー株式会社

細井 幹広（ほそい みきひろ）

m.hosoi@aisan-tec.com

株式会社カクマル

曾根田 馨（そねだ かおる）

soneda@kakumaru.jp