

令和1年10月30日

日本測地学会 第132回講演会 講演番号28

四次元ダイナミック座標のための 速度推定法の検討

Examination of Velocity Estimation Method
for Four-Dimensional Dynamic Coordinates

里村幹夫¹, 伊藤広和¹, 小林敬幸¹, 島田誠一^{1,2}, 末野幹雄^{1,3}, 中尾 茂⁴


1: 株式会社日豊; 2: 東京大学新領域創成科学研究科

3: 株式会社カルシステム; 4: 鹿児島大学理工学研究科

ダイナミック座標

- 現在の日本(国土地理院)の地理座標はセミダイナミック座標管理
 - 基準日(元期)からの地殻変動を補正して、元期(多くは1997年1月1日、東北地方、関東地方と北信越地方は2011年5月24日)の値に戻した座標値として管理
- 航空機や車など高速移動物体の運転自動化については、現在の座標値(ダイナミック座標)の使用が必要

四次元ダイナミック座標管理

- ダイナミック座標に速度を加えて、四次元で座標を管理
- 未来の座標を予測
- 現在の座標値と予測座標値の差が許容範囲を超えるときは再測
- 原理特許、商標登録済 

特許			
特許番号	発明の名称	出願番号	登録日
特許第3760102号	時空間三角網平均による宇宙測量法	特願2001-050414	平成13年2月26日
特許第4846779号	災害緊急地震変動解析システム及び災害緊急地震変動解析方法	特願2008-314949	平成23年10月21日
特許第5058594号	測位点推定装置および測位点推定方法ならびにそのプログラムと記録媒体	特願2006-356132	平成24年8月10日
特許第6082795号	地震情報システム、地震解析装置、地震情報処理方法、プログラム	特願2015-202409	平成29年1月27日
特許第6528293号	ダイナミック座標管理装置、ダイナミック座標管理方法、プログラム	特願2018-099182	令和元年5月24日

商標登録			
登録番号	発明の名称	出願番号	登録日
登録第5883576号	JISLaD	商標2016-031338	平成28年9月23日
登録第6124060号	四次元ダイナミック座標	商標2018-060284	平成31年2月22日
登録第6124061号	四次元ダイナミック座標管理	商標2018-060285	平成31年2月22日
登録第6124062号	四次元ダイナミックマップ	商標2018-060286	平成31年2月22日

(株)日豊ホーム
ページより

JISLaD



GEONET点

全国約1,300地点

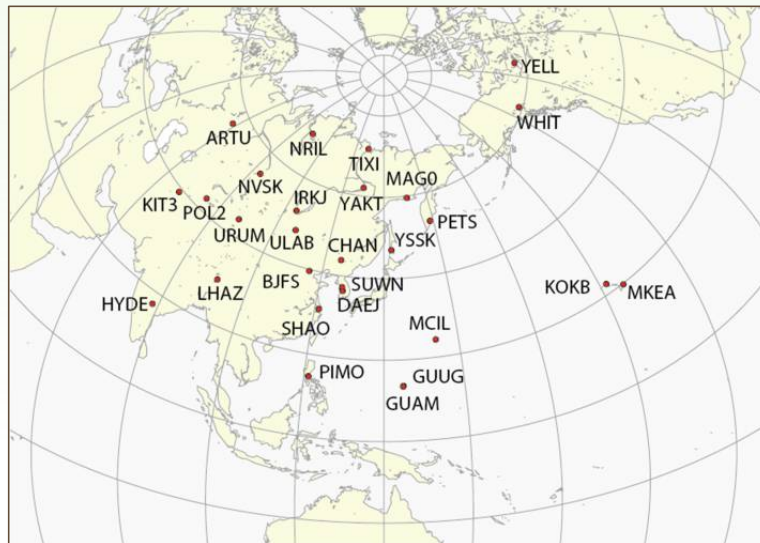


GAMIT/GLOBKプログラムを用いた
GEONET全点連日自動解析システム
Berneseでも結果を照査



2008年4月からの
日毎の座標データを蓄積

IGS点28点



ITRF2005	(Apr.2008 ~ Oct.2011)
ITRF2008	(Oct.2011 ~ May 2017)
ITRF2014	(May 2017 ~)

(島田ほか(2008), 請井ほか(2018)など)

2008年4月以降の日毎の座標データを蓄積



 JISLaD 地盤情報システム

The Japanese Information System of Land Deformation

平成28年9月23日
商標登録

- ・基線長の変化
- ・面積ひずみの変化



地殻変動の監視に利用

空港の座標値

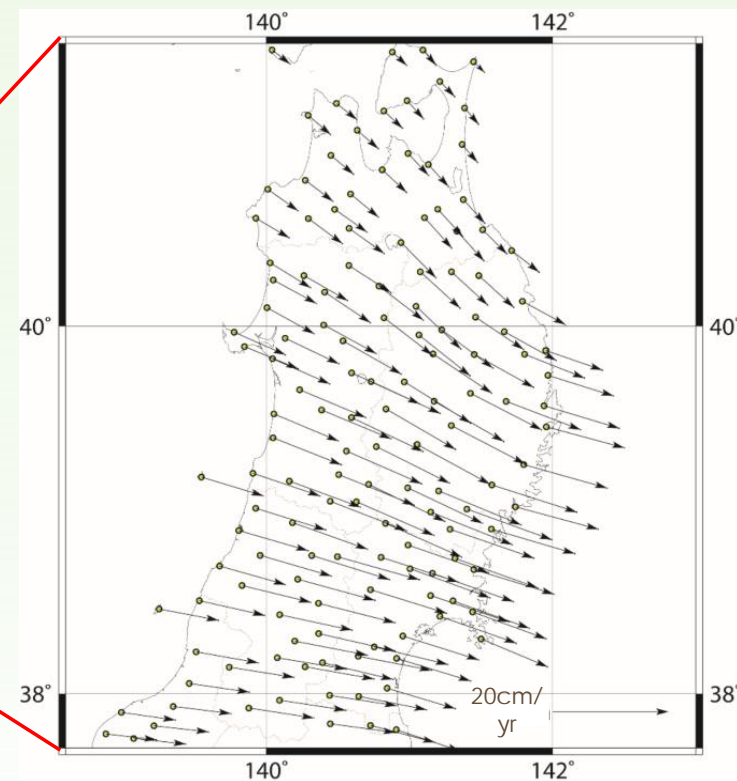
衛星航法を実施するために、ICO（国際民間航空機関）が求める
WGS84座標値の精度保証

Data element	Accuracy	Resolution	Integrity
FPAP (Flight Path alignment point) (latitude, longitude)	0.3m (1ft)	0.0005" (0.01")	10 ⁻⁸ *
LTP/FTP (Loading threshold point/Fictitious threshold point) (latitude, longitude)	0.3m (1ft)	0.0005" (0.01")	10 ⁻⁸ *
LTP/FTP (Loading threshold point/Fictitious threshold point) (ellipsoidal height)	0.25m	0.1m	10 ⁻⁸ *
Approach TCH (threshold crossing height)	0.5m	0.05m	10 ⁻⁸ *
Glide path angle	0.01 °	0.01 °	N/A
Course width	N/A	0.25m	10 ⁻⁸ *
Delta length offset	N/A	8m	N/A

* 10⁻⁸とい
うのは、最高
の品質という
意味

空港の座標については、水平30cm高さ25cmの精度保証の絶対座標
が求められている → **ダイナミック座標管理**が必要

JISLaD結果に見る速度場 (cm/y)



2011年東北地方太平洋地震後

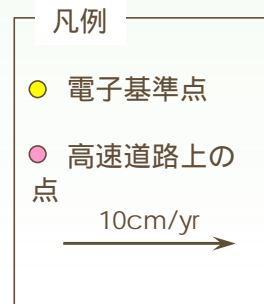
東北地方



10 ~ 15cm/yrの地殻変動

～ 高速道路の地殻変動速度の例 ～

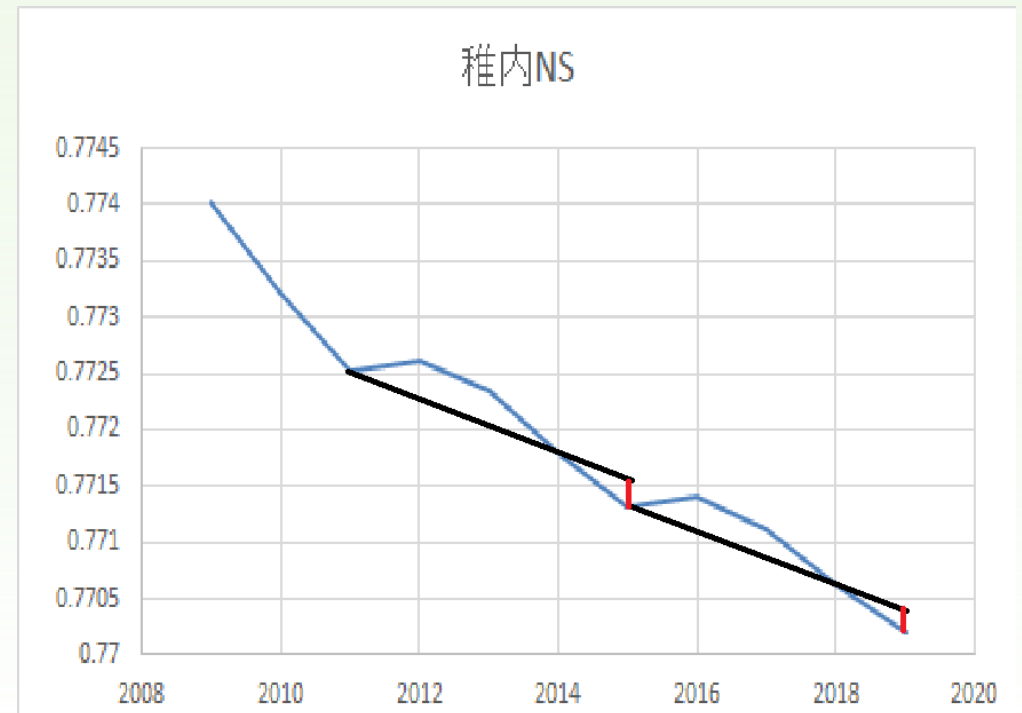
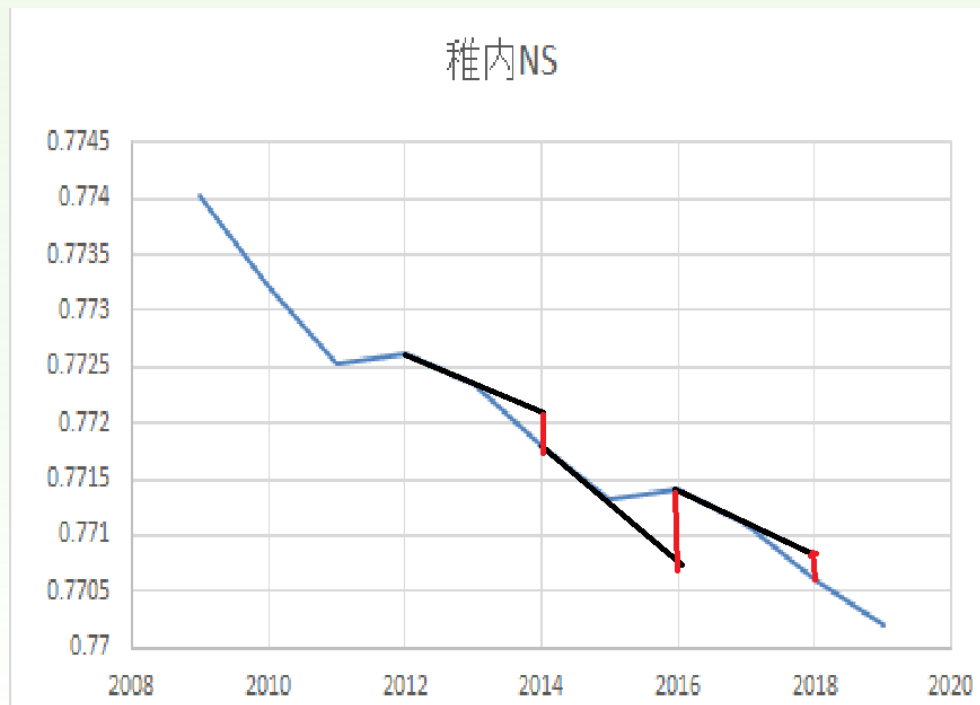
- 近傍の電子基準点の値を使用して高速道路上の速度を推定した
- 電子基準点の速度はJISLaDによる解析結果



変動速度の推定方法（検討中）

- 年周変動を無視（1年後の座標値を推定）
過去の座標値から直線で外挿
- 過去の座標値を多項式、指数関数、対数関数近似
- GAMIT/GLOBKに入っているKalman Filterを使用

直線の外挿による速度推定値の精度チェック



過去1年の変動で推定したときの1年後の差

過去3年の平均変動で推定したときの1年後の差

2012年以降の1月の第1週のデータをもとに、誤差（図の赤線）のRMSを調査

1～3年間目の差から求めた予測値と実際の座標値の差 (RMS)

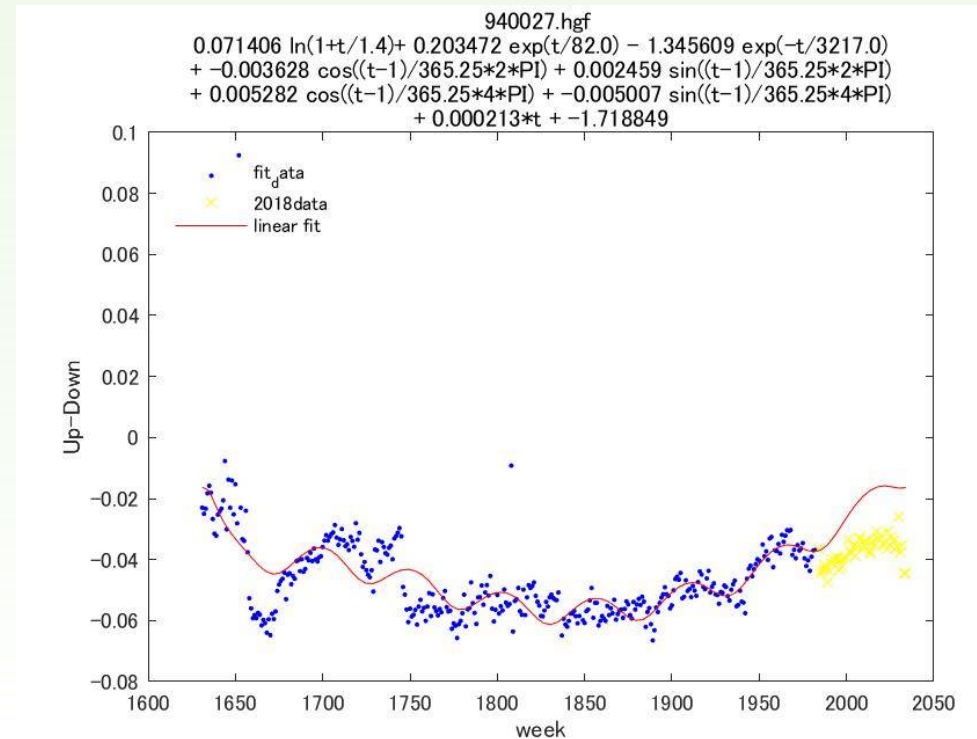
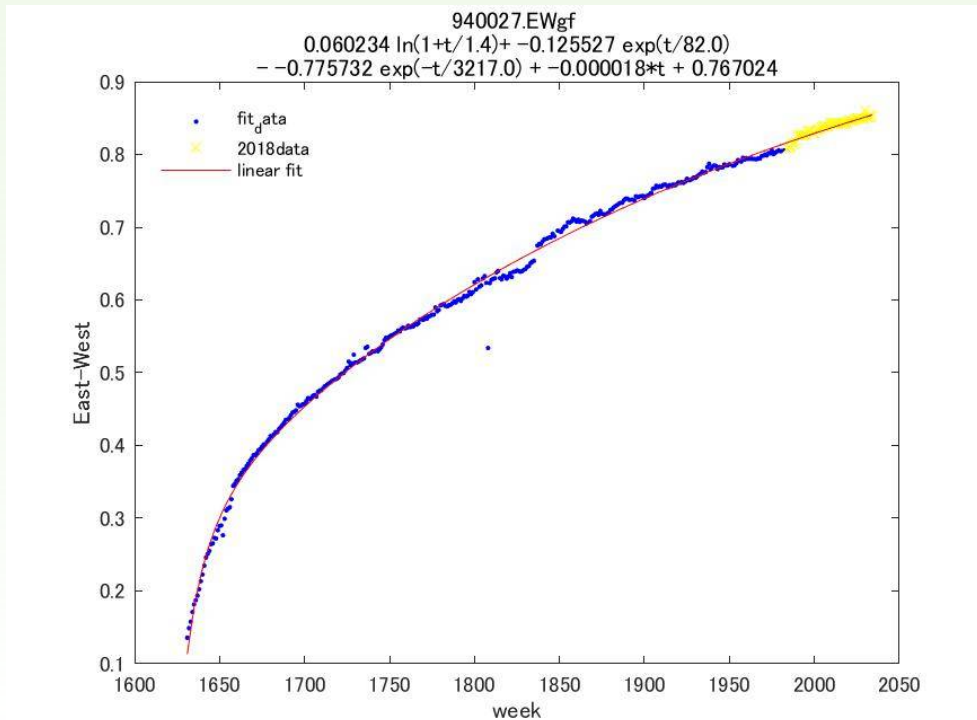
	南北成分：mm			東西成分：mm			上下成分：mm		
	1年	2年	3年	1年	2年	3年	1年	2年	3年
0001 稚内	4.0	4.5	4.7	2.8	3.2	3.4	6.8	4.1	5.0
0019 えりも	5.5	5.6	5.1	3.9	4.4	5.4	8.5	8.8	9.6
0020 奥尻	3.3	4.3	5.2	3.6	3.7	3.8	11.3	6.5	7.3
0028 宮古	4.4	6.3	8.3	14.7	16.2	16.3	10.2	4.4	6.1
0030 男鹿	3.9	5.3	7.0	5.8	6.9	7.5	7.1	4.3	5.3
0041 いわき	3.9	5.3	7.2	7.4	9.3	10.6	9.6	4.7	6.5
0050 新潟	4.1	4.6	4.9	5.2	6.1	7.3	7.1	4.7	6.0
0070 串本	3.1	3.4	3.5	3.5	4.0	4.4	7.9	3.9	5.4
0082 室戸	3.6	3.9	3.6	3.2	3.9	3.9	6.4	4.1	5.5
0085 土佐清水	3.8	3.8	3.0	3.3	4.0	4.1	7.5	6.1	7.7
0086 伊方	3.0	3.3	3.8	4.2	4.6	4.4	6.2	4.7	6.0
0147 鹿部	3.9	4.3	5.3	3.7	4.0	4.3	4.3	4.9	5.1
0214 北茨城	4.2	4.7	6.5	6.4	6.0	6.2	5.5	4.3	5.1
0223 秩父	3.6	4.1	4.4	4.3	4.3	4.2	5.1	5.1	5.3
0228 世田谷	3.6	4.0	4.4	4.5	4.6	4.8	7.6	7.3	8.5
0378 鹿野	4.0	4.9	5.1	3.3	4.2	4.3	6.3	5.2	6.1
0465 熊本	107.9	113.1	127.7	126.7	130.7	148.3	31.3	31.8	36.7
0487 鹿児島鹿島	2.6	2.9	2.8	2.9	3.4	3.2	6.1	4.5	5.9
0497 南大東	2.9	2.8	3.7	4.0	4.4	4.1	3.9	4.1	3.9
0550 牡鹿	5.9	7.6	10.4	11.9	12.4	14.4	7.3	6.9	7.8
0740 宜野座	2.2	2.5	2.7	3.2	4.0	4.3	7.1	3.3	5.9
0730 笠利	2.8	3.0	3.1	3.5	4.2	4.1	5.2	5.1	5.5
3022 銚子	4.4	6.2	7.9	7.4	7.6	6.9	4.2	5.4	5.0
3026 川崎	3.9	4.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5.3	7.2	5.9
RMS	22.3	23.5	26.6	26.5	27.4	31.0	9.4	8.3	9.7
RMS(熊本を除く)	3.8	4.6	5.5	5.8	6.5	6.8	7.0	5.4	6.2

1～3年間目前の差から求めた予測値と実際の座標値の差 (RMS)									
	南北成分：mm			東西成分：mm			上下成分：mm		
	1年	2年	3年	1年	2年	3年	1年	2年	3年
0001 稚内	4.0	4.5	4.7	2.8	3.2	3.4	6.8	4.1	5.0
0019 えりも	5.5	5.6	5.1	3.9	4.4	5.4	8.5	8.8	9.6
0020 奥尻	3.3	4.3	5.2	3.6	3.7	3.8	11.3	6.5	7.3
0028 宮古	4.4	6.3	8.3	14.7	16.2	16.3	10.2	4.4	6.1
0030 男鹿	3.9	5.3	7.0	5.8	6.9	7.5	7.1	4.3	5.3
0041 いわき	3.9	5.3	7.2	7.4	9.3	10.6	9.6	4.7	6.5
0050 新潟	4.1	4.6	4.9	5.2	6.1	7.3	7.1	4.7	6.0
RMS	22.3	23.5	26.6	26.5	27.4	31.0	9.4	8.3	9.7
RMS(熊本を 除く)	3.8	4.6	5.5	5.8	6.5	6.8	7.0	5.4	6.2

1年後の推定値と実測値の差

- 水平成分は、2年や3年間の平均値を使うより1年間の変動をそのまま延長したほうがRMSが小さい。
 - 地震による変動があった熊本を除けば、RMSで南北3.8mm、東西5.8mmの差
- 上下成分は、1年間より2年間の平均変動を使った方がよかった。（ランダムな変動の影響？）
 - RMSが、1年だと7.0mmだが、2年だと5.4mm

その他の推定方法(検討中)



最初はGAMIT/GLOBKのKalman Filterによる速度の利用を考えていたが、今までのところ適当な結果が得られていない。

まとめ



- (株)日豊では国土地理院が取得した電子基準点データを独自に自動解析して結果を蓄積している(JISLaD)。
- GAMIT/GLOBLソフトウェアを使用し、Berneseでもチェック。最新のITRF座標系 (ITRF2005,2008,2014) を使用。
- 航空機の衛星航法に向けて、ICAO (国際民間航空機関) から滑走路の絶対位置について、WGS84に基づく水平方向30cm、上下方向25cmの精度保証が求められている。
- それに対応するには、四次元ダイナミック座標 (現在の座標 + 変動速度) で管理する必要がある。
- 航空機だけではなく、自動車の自動運転等にもこの考え方が必要だろう。
- 変動速度を求める方法について、過去のJISLaDデータを直線で外挿する方法を考えているが、さらなる検討が必要。
 - 本研究の一部は、平成31年度いばらき宇宙ビジネス支援事業の補助金を使用した。