

# 十勝沖地震(2003年)とGPS観測による電子基準点の位置変化

～ 土地家屋調査士の目線で作り上げた地図 ～

札幌土地家屋調査士会

高 向 正 信

## 十勝沖地震(2003年)とGPS観測による電子基準点の位置変化

～ 土地家屋調査士の目線で作り上げた地図 ～

### 要 旨

1996年3月にGPS連続観測網システムがスタートしてから11年が経過した。その蓄積された11年分の電子基準点データ(国土地理院提供 / 2001年8月公開)の位置を描画することにより、「GPS電子基準点が日々どのように変化し、地殻変動によってどのように変位するか、また、そこに生ずる電子基準点間の歪み(相対的変位)はどのようなものか。」について考察した。ここでは特に十勝沖地震に焦点をあて、その動きを浮かび上がらせたいと思う。

興味深いことに、さまざまな試行錯誤の作業過程で、地震発生のおよそ7時間50分前の電子基準点位置に明らかな変位が認められ、結果として地震前にすでに地殻変位があったことを示している。予想しえなかったとはいえデータが示すこの結果には非常に驚いた。

では、サブタイトルの～土地家屋調査士の目線で作り上げた地図～とは何か。土地家屋調査士である私は二次元の世界(平面直角座標)を業務とし、電子基準点データが扱う三次元の世界(測地直交座標)にはなじみが薄い。悲しいかな三次元成果を見ても何も頭に浮かばない。そうであるならと思い立ち、電子基準点:日々の座標値[F2](国土地理院提供)をデータベース化し、測地直交座標を平面直角座標に換算。さらにCAD上にラムベルト正角円錐図法による地図を作り、各電子基準点を経緯度単位で順次描画する。つまり視覚的に考察することを目指すものであるが、さらに電子基準点における観測日データを、土地家屋調査士が得意とする色分け(誤差の表記方法)で描画することにより、地殻変動の日とその影響を受けた期間の特定を可能にした。

十勝沖地震においても、地震後の電子基準点間の歪みが顕著に残り、余震やその後の微小地震を誘発したものと推察できる。

## はじめに

G P S ( 汎地球測位システム ) の出現で、土地家屋調査士の登記測量に対する環境が一変した。電子基準点に基づく G P S 連続観測網システム ( GEONET ) が大きな役割を果たし、改正測量法の 2002 年 4 月施行により日本測地系座標は世界測地系座標 ( 測地成果 2000 ) へ移行した。その後、改正不動産登記法の 2005 年 3 月施行へと続き、不動産登記規則第 10 条 3 項に「地図を作成するための測量は、測量法第 2 章の規定による基本測量の成果である三角点及び電子基準点-----略-----を基礎とする」とされた。G P S 電子基準点は地積測量図作成に必要な与点 ( 位置情報 ) として位置付けられ、我々土地家屋調査士と深いつながりを持つことになった。

私事だが、1977 年の有珠山噴火で被災し、地殻変動による登記測量業務の停滞から有珠郡壮瞥町からの転出を余儀なくされた。噴火のさなか生まれた長男は当然ながら今年 30 歳になる。さらに 2000 年、地元で暮らす老親や周辺の知人を心配する立場で、再び有珠山噴火を見ることになるのだが、この噴火については国土地理院のホームページが電子基準点の位置変化を噴火前から噴火後に至るまで毎日克明に配信し続けた。中でも [ 有珠山周辺の G P S 連続観測結果 ] は、電子基準点間の基線長変化を比較することで噴火予知に寄与し非難解除までの住民の安全にも役立つものだった。これらの経験は私の目を強い関心を持って G P S 電子基準点に向かわせた。

その電子基準点が目指すのは「地殻変動測定と測量の基準点」であるが、本論では、地殻変動測定のため蓄積されたデータ ( 日々の座標値 [ F2 ] ) を通し、土地家屋調査士が必要とする位置情報を得ることを目的とする。以下にその解析方法と、その過程で導かれた十勝沖地震における G P S 電子基準点の位置変化について述べる。

## 使用データの検討

### 1 データとその換算方法

国土地理院が [ GSI HOME PAGE ] で公開している電子基準点：日々の座標値 [ F2 ] から ITRF2000 ( 三次元直交座標 X、Y、Z ) データ 1200 余点をダウンロードする。

[ 表 1 ] 電子基準点データ例・電子基準点【えりも 1】940019

*yyyy mm dd HH:MM:SS	X(m)	Y(m)	Z(m)	Lat.(deg.)	Lon.(deg.)	Height(m)
2003 09 23 11:59:59	-3.7985907015E+06	2.8462072643E+06	4.2461180341E+06	4.2005859231E+01	1.4315652088E+02	4.5693645636E+01
2003 09 24 11:59:59	-3.7985906953E+06	2.8462072589E+06	4.2461180365E+06	4.2005859296E+01	1.4315652088E+02	4.5689158712E+01
2003 09 25 11:59:59	-3.7985907280E+06	2.8462072066E+06	4.2461180220E+06	4.2005859231E+01	1.4315652163E+02	4.5675597415E+01
2003 09 26 11:59:59	-3.7985910412E+06	2.8462067328E+06	4.2461177938E+06	4.2005857906E+01	1.4315652847E+02	4.5498022222E+01
2003 09 27 11:59:59	-3.7985910622E+06	2.8462067299E+06	4.2461177877E+06	4.2005857774E+01	1.4315652865E+02	4.5505135906E+01

ITRF2000 ( 三次元直交座標 X、Y、Z ) を G R S 80 楕円体 ( 緯度 経度 楕円体高 ) に換算しさらに世界測地系 ( 平面直角座標 19 座標系 X 座標、Y 座標、標高 ) へ換算する。

国土地理院の日々の座標値 [ F2 ] データは、[ 表 1 ] からわかる通り G R S 80 楕円体 ( Lat ( deg ) , Lon ( deg ) , Height ( m ) ) を換算済みで公開しているが、ここでは既存の換算ソフト ( 高向作成 ) 使用のためその計算も行っている。この計算は国土地理院 [ GSI HOME PAGE ] 【測量計算プログラム】においても行える。

## 2 換算結果

電子基準点 3 点について換算した結果は次のようになる。

[ 表 2 ] 電子基準点成果換算表

電子基準点【えりも1】940019		基準点成果 (改定前)			-221114.918	75091.980	24.50			
		平成17年4月1日 改定			-221115.069	75092.490	24.36			
NO	観測日	X	Y	Z	X座標	x	Y座標	y	標高	h
1	96 03 21	-3798590.7131	2846207.1367	4246118.0485	-221114.9202	-2	75091.9865	6	24.4824	-18
2	96 03 22	-3798590.7069	2846207.1395	4246118.0492	-221114.9175	0	75091.9805	1	24.4804	-20
3	96 03 23	-3798590.7180	2846207.1389	4246118.0545	-221114.9192	-1	75091.9877	8	24.4903	-10
4	03 09 23	-3798590.7015	2846207.2643	4246118.0341	-221114.9770	-59	75091.8780	-102	24.5227	23
5	03 09 24	-3798590.6953	2846207.2589	4246118.0365	-221114.9697	-52	75091.8786	-101	24.5182	18
6	03 09 25	-3798590.7280	2846207.2066	4246118.0220	-221114.9764	-58	75091.9401	-40	24.5047	5
7	03 09 26	-3798591.0412	2846206.7328	4246117.7938	-221115.1175	-200	75092.5086	529	24.3271	-173
8	03 09 27	-3798591.0622	2846206.7299	4246117.7877	-221115.1320	-214	75092.5236	544	24.3342	-166
9	07 04 12	-3798591.2790	2846206.6678	4246117.6446	-221115.3276	-410	75092.7054	725	24.3397	-160
10	07 04 13	-3798591.2810	2846206.6698	4246117.6480	-221115.3270	-409	75092.7050	725	24.3441	-156
11	07 04 14	-3798591.2760	2846206.6664	4246117.6396	-221115.3292	-411	75092.7047	725	24.3340	-166

電子基準点【えりも2】960532		基準点成果 (改定前)			-207664.851	88110.648	8.42			
		平成17年4月1日 改定			-207665.196	88111.334	8.20			
NO	観測日	X	Y	Z	X座標	x	Y座標	y	標高	h
1	97 02 19	-3799327.7260	2830314.0461	4255980.7602	-207664.8561	-5	88110.6527	5	8.2898	-130
2	97 02 20	-3799327.7296	2830314.0478	4255980.7670	-207664.8537	-3	88110.6534	5	8.2974	-123
3	97 02 21	-3799327.7352	2830314.0534	4255980.7699	-207664.8568	-6	88110.6523	4	8.3051	-115
4	03 09 23	-3799327.7277	2830314.1929	4255980.7995	-207664.8881	-37	88110.5363	-112	8.3823	-38
5	03 09 24	-3799327.7219	2830314.1890	4255980.8043	-207664.8799	-29	88110.5359	-112	8.3804	-40
6	03 09 25	-3799327.7825	2830314.1164	4255980.7885	-207664.8939	-43	88110.6305	-17	8.3736	-46
7	03 09 26	-3799328.3100	2830313.5836	4255980.3808	-207665.2573	-406	88111.3775	729	8.1778	-242
8	03 09 27	-3799328.3275	2830313.5812	4255980.3739	-207665.2707	-420	88111.3900	742	8.1826	-237
9	07 04 12	-3799328.5145	2830313.5461	4255980.2598	-207665.4401	-589	88111.5320	884	8.2017	-218
10	07 04 13	-3799328.5138	2830313.5464	4255980.2609	-207665.4390	-588	88111.5314	883	8.2022	-218
11	07 04 14	-3799328.5102	2830313.5435	4255980.2549	-207665.4404	-589	88111.5315	884	8.1946	-225

電子基準点【釧路市】9400104		基準点成果 (改定前)			-115156.290	14842.409	39.84			
		平成17年4月1日 改定			-115156.119	14842.389	39.86			
NO	観測日	X	Y	Z	X座標	x	Y座標	y	標高	h
1	96 03 24	-3802588.6560	2719181.6983	4324563.1698	-115156.2986	-9	14842.4135	5	39.8386	-1
2	96 03 25	-3802588.6607	2719181.7038	4324563.1767	-115156.2983	-8	14842.4118	3	39.8485	8
3	96 03 29	-3802588.6541	2719181.6987	4324563.1688	-115156.2984	-8	14842.4121	3	39.8370	-3
4	03 09 23	-3802588.5968	2719181.7979	4324563.1590	-115156.3134	-23	14842.2981	-111	39.8384	-2
5	03 09 24	-3802588.5964	2719181.7958	4324563.1664	-115156.3069	-17	14842.2996	-109	39.8423	2
6	03 09 25	-3802588.5906	2719181.7983	4324563.1779	-115156.2963	-6	14842.2942	-115	39.8478	8
7	03 09 26	-3802588.6526	2719181.6426	4324563.2407	-115156.2226	67	14842.4567	48	39.8612	21
8	03 09 27	-3802588.6573	2719181.6454	4324563.2340	-115156.2312	59	14842.4572	48	39.8606	21
9	07 04 12	-3802588.7457	2719181.5818	4324563.1480	-115156.3177	-28	14842.5605	152	39.8276	-12
10	07 04 13	-3802588.7426	2719181.5794	4324563.1468	-115156.3159	-26	14842.5607	152	39.8239	-16
11	07 04 14	-3802588.7425	2719181.5812	4324563.1426	-115156.3197	-30	14842.5591	150	39.8217	-18

## 3 異なる座標系 ( ITRF1994・ITRF1997・ITRF2000 ) の整理と検証

基準点成果の座標系表記方法が ITRF1994 に準拠した【世界測地系( 測地成果 2000 )】から、現在の【世界測地系】に変わった。( 測地成果 2000 が除かれた )

初期データ[F1]が ITRF1997、[F2]が ITRF2000 という異なる座標系に準拠している等から、三次元直交座標値が異なるが、GRS80 楕円体 ( 緯度 経度 楕円体高 ) への換算方法は同じである。尚、G E O N E T では 2004 年 4 月より[F2]を主軸とした。

ITRF1994・ITRF1997・ITRF2000 の相互座標変換方法は国土地理院 [ GSI HOME PAGE ] が公開している xyz2xyz.par Ver.2.0 Mikio Tobita,GSI のパラメータを使用することになるが、

ここでは、与えられた成果を検証するにとどめる。

ITRF1994 (測地成果 2000)・ITRF1997・ITRF2000 成果の検証として、電子基準点成果の改定が行われていない地域を例に[F1]と[F2]の差を見ることにする。

[表3] [F1]と[F2]の換算成果の差

電子基準点【苫小牧】950136 (北海道)							
[F1]	96 03 21	-3681909.5148	2918009.4187	4299470.7010	-148150.850	-53106.498	19.93 (12系)
[F2]	96 03 21	-3681909.5041	2918009.4008	4299470.6988	-149150.8565	-53106.4960	2 19.8384 -92
電子基準点【三隅】950388 (島根県)							
[F1]	96 03 21	-3504519.9510	3902679.1549	3616731.8209	-136719.410	-22291.539	32.54 (3系)
[F2]	96 03 21	-3504519.9537	3902679.1453	3616731.8332	-136719.4161	-22291.5595	-21 32.4723 -68
					-136719.4030	-22291.5511	-12 32.4749 -65

#### 4 検証の結果

[表2][表3]の結果から電子基準点成果と[F1] ITRF1997 換算成果・電子基準点成果と[F2] ITRF2000 換算成果の差がそれぞれ僅差であること、電子基準点成果(改定前)と観測開始日の成果の差も僅差であることから、データベース化した日々の座標値[F2]を利用し、地図が作成できるとわかった。(標高の差は参考にとどめる)

- 補足説明 -

経年変位を求める式

$$(x, y) = (X_n, Y_n) - (X_0, Y_0) : \{( \text{基準日} )_0 = \text{観測日 } No, n = \text{求める観測日 } No \text{ まで} \}$$

例)[表2]の(x, y)は(基準日)<sub>0</sub> = 電子基準点成果(改定前)と各観測日成果の差を表したものである。

電子基準点の改定成果と経年変位する電子基準点位置

例)【えりも1】940019     X=221115.069    Y=75092.490    05年4月1日改定成果・・・  
                                  X=221115.118    Y=75092.509    03年9月26日観測成果・・・  
                                  X=221115.329    Y=75092.705    07年4月14日観測成果・・・

土地家屋調査士が扱う登記測量において電子基準点を与点とした場合、与点成果は を使用し、経年変化した で測量することになる。ここでは国土地理院ホームページからの引用文にとどめる。「日々の座標値は、地心座標系での座標値(XYZ)等、日々の解析結果が表示されます。主に研究等の微細な大地の動きを知りたい場合に用いられ、通常の測量には使うことが出来ません。なお、測量で使う成果は微細な大地の動きを加味せず、緯度、経度を固定した値を使用しています。」(データ解説 日々の座標値についてより)

#### 地図作成

##### 1 作成方法と手順

CAD は AutoCAD LT2002 を使用する。

ラムベルト正角円錐図法を採用し、標準緯線を北緯 36°00′    1 = 48°00′    2 = 24°00′  
 中央経線を東経 139°00′ にとり、経緯度単位で管理した各電子基準点を順次プロットする。

マイクロソフト エンカルタ 百科地球儀 2000 から海岸線の経・緯度を読み取り上記 にプロットすることで地図の輪郭とする。

電子基準点の真北方向を X 軸とした平面直角座標を上記 に貼り付け、基準日成果を極座標原点として、基準日の成果と日々の成果の差( x, y)を同一縮尺で拡大プロットする。

経年変位の流れを調べるため、観測日で管理し、知りたい期間を区切って色を付ける。この作業を全電子基準点に対し繰り返す。ここでは北海道地域（168 電子基準点）に限定する。

- 補足説明 -

平面直角座標をラムベルト正角円錐図に貼り付けた理由は、例えば北海道【苫小牧】950136と島根県【三隅】950388を見比べたとき、電子基準点位置の変位量は同一縮尺で表した平面直角座標系でわかり、変位方向は真北方向角を利用した球面座標系でわかると考えた。実際に全電子基準点の観測日（基準日）を統一した日本全図を描画した場合、ある地域に生じた地殻変動が他の地域へ与える地殻変位、そのことを繰り返したことで経年変化した日本列島の姿が見えてきた。

ラムベルト正角円錐図法は最もよく用いられる図法の一つで、小中縮尺の地図、測量座標の図法として用いられている。

2 地図から読み取れるもの

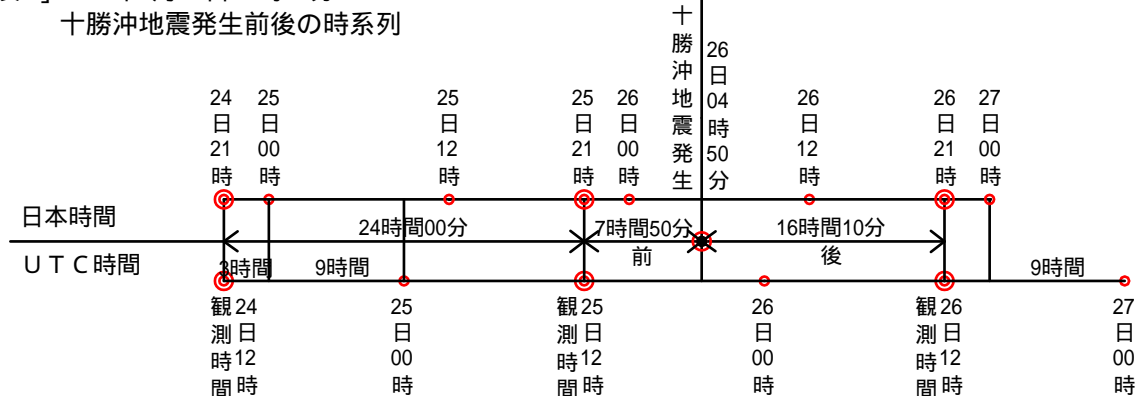
G P S 観測開始（1996/03/21）から十勝沖地震発生前（2003/09/25）までを描画した。電子基準点位置は毎日 ±1cm を超えない範囲で変位しながら、大きな地殻変動を受ける前の状態を表し、北海道全体がプレート境界に沿った形で、ある方向へゆっくり進んでいるように見える。これに観測日を単位に色付けし描画をすれば、その期間の形と速さがわかる。

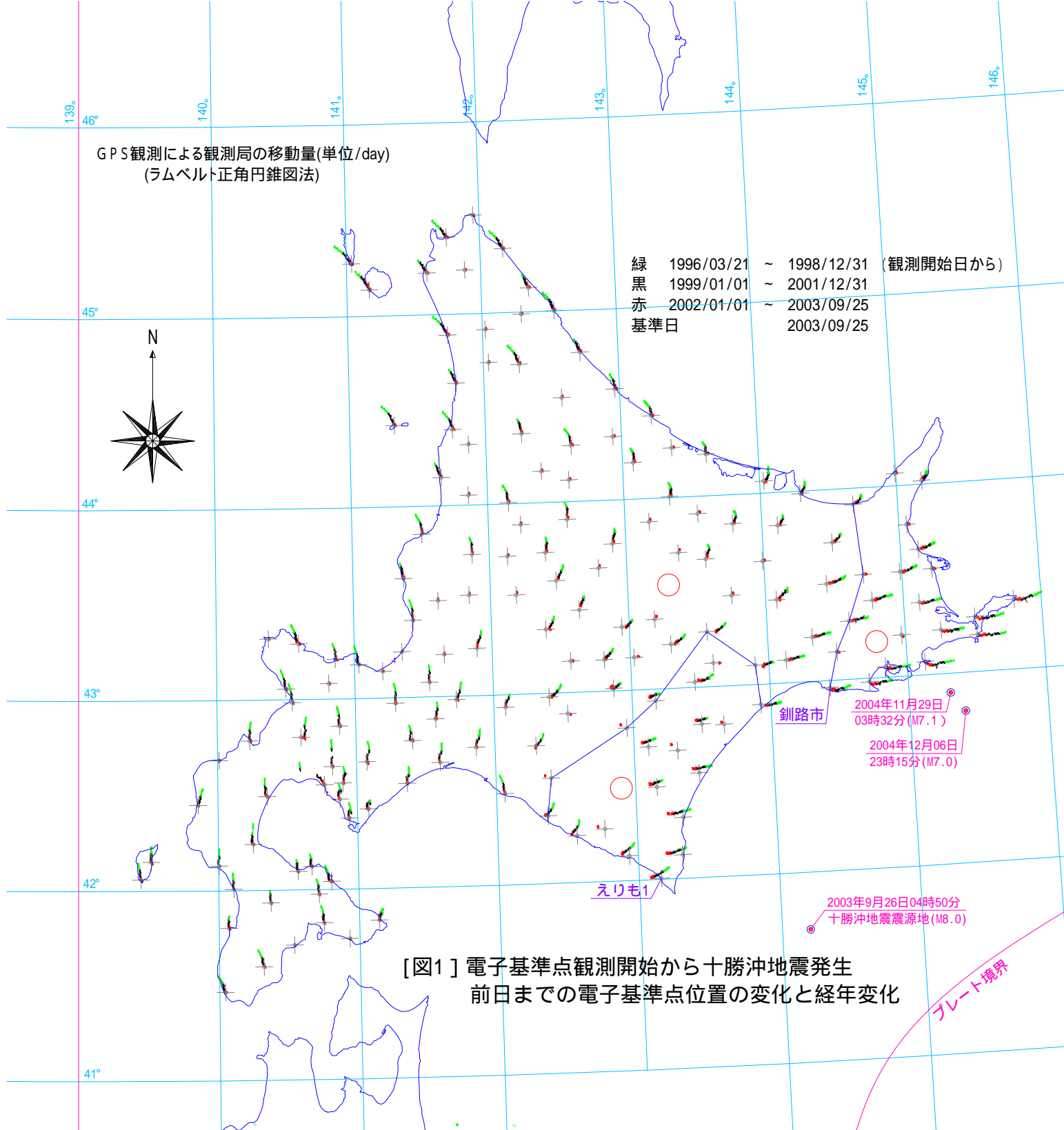
【えりも1】で約 1cm/年の速さである。[ 図 1 ]

03/09/24 と 03/09/25 の観測結果から異常な変位（±2cm と仮定）が認められ、その範囲が地域に及んだ。特に震源地に近い、電子基準点【えりも1】940019・【えりも2】960532・【広尾】940015・【大樹2】970793・【大樹】950138 では 5cm を超えるものであった。この現象が何に起因するかを考察するため、十勝沖地震発生前後の日本時間と G P S 観測時間の時系列を [ 表 4 ] に示した。その結果、十勝沖地震発生 7 時間 50 分前にあたる日本時間 25 日 21 時の G P S 観測結果と日本時間 24 日 21 時の G P S 観測結果において電子基準点位置に明らかに変位が確認できる。それは地震発生前に現れた地殻変位（まだ地殻変動に至っていない状態）で大いに興味深いものであった。

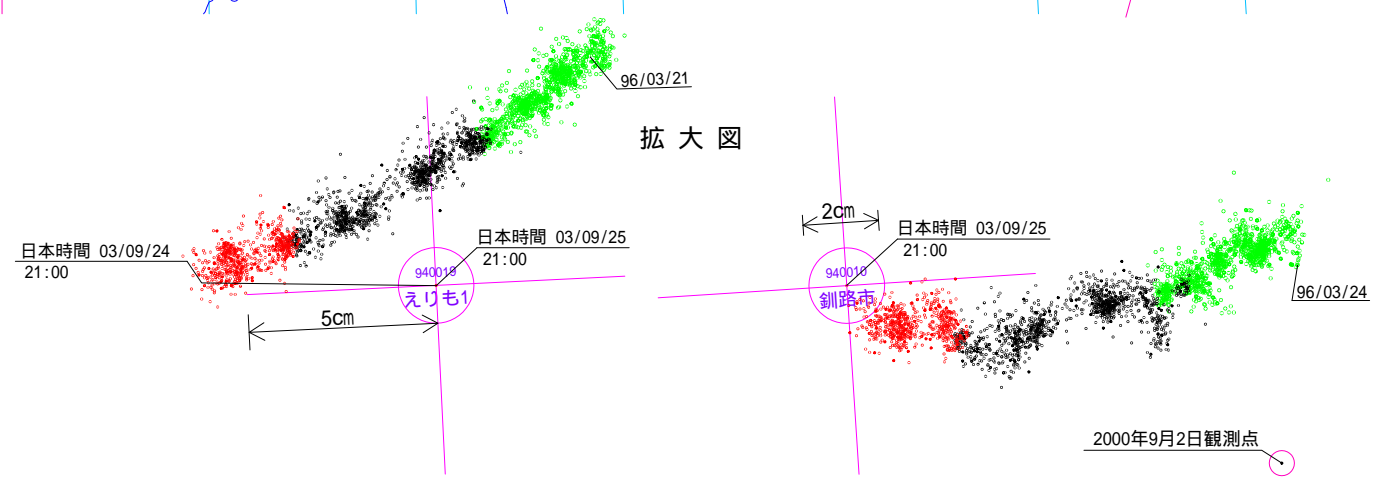
観測データの信頼性は [ 図 2 ] から視覚的に判断して、震源地を中心に釧路・根室を基点に反時計回りに地形変位し、帯広から静内にかけて変位量を増し震源地に引き込まれるような動きに見える。これは系統だった地形変位に見え、データ異常は考えにくいと判断できる。

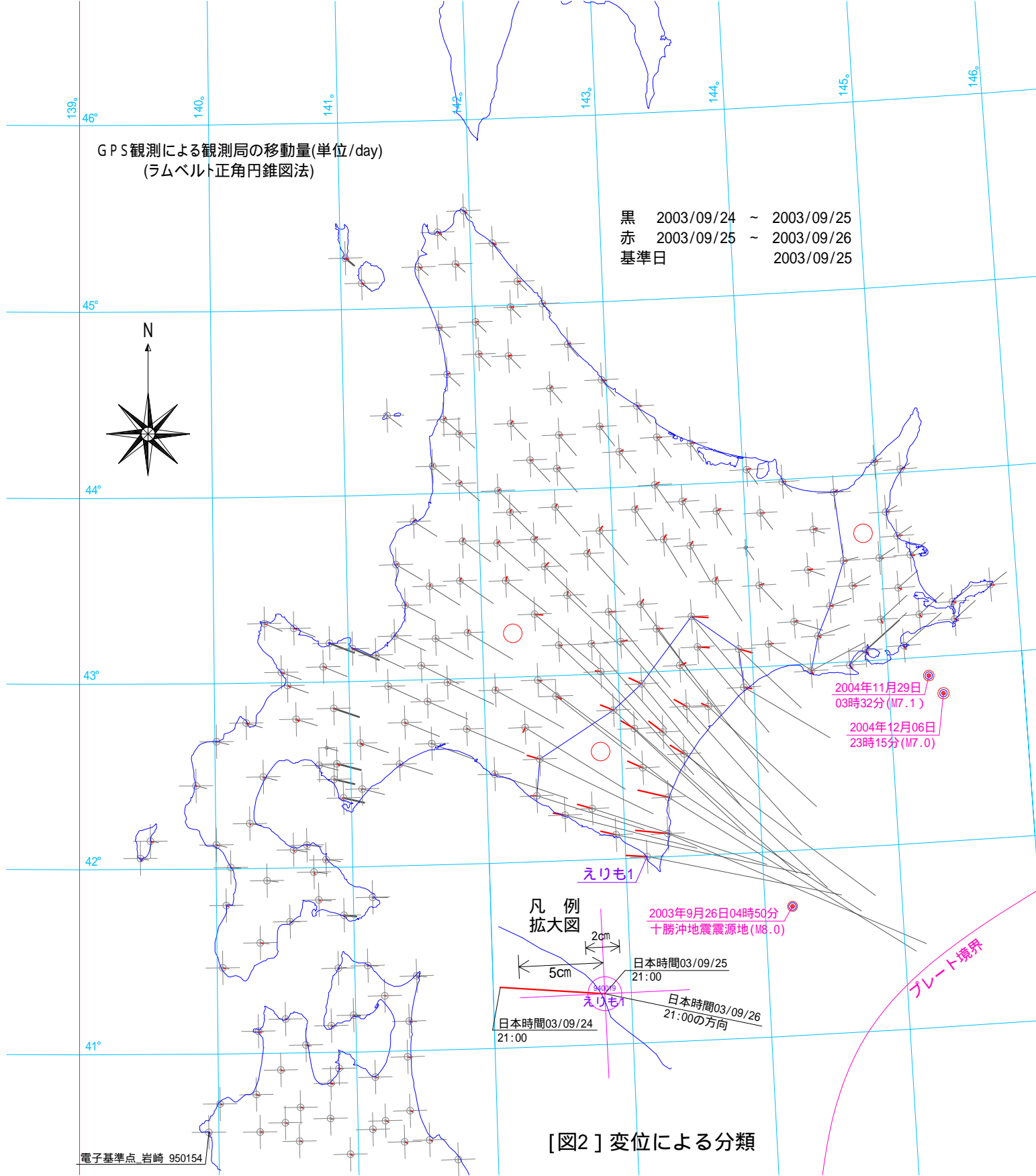
[ 表 4 ] 2003年9月26日04時50分





[図1] 電子基準点観測開始から十勝沖地震発生  
前日までの電子基準点位置の変化と経年変化



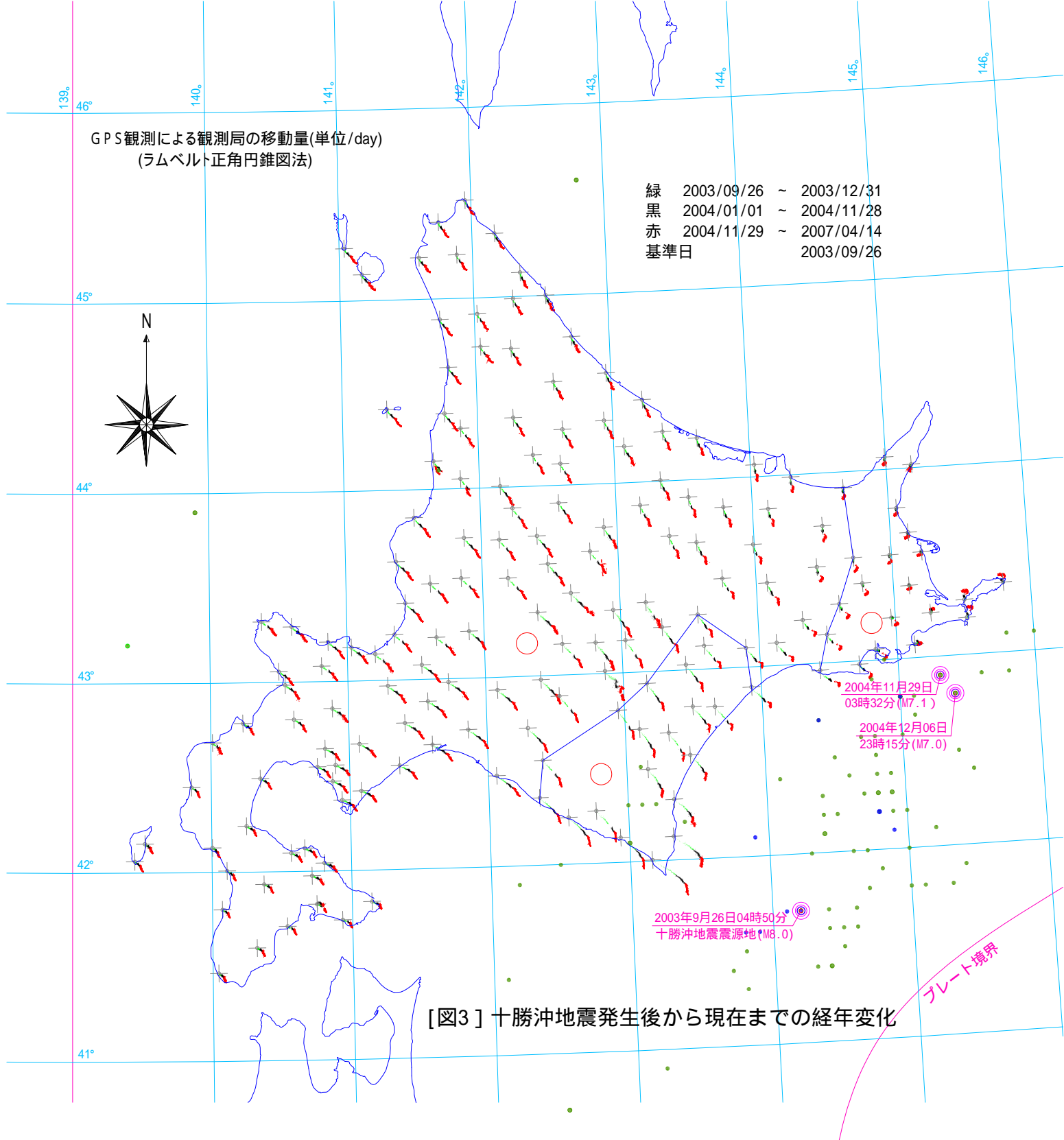


[図2] 変位による分類

03/09/24・03/09/25/・03/09/26の3日間について、地震発生前後における電子基準点位置の変位を図示し、その変位の方向・量で地域を分類した。

- 分類 地域は地震発生前に変位があり地震発生後に震源地方向へ変位した
  - 分類 地域は地震発生前に変位がなく地震発生後に震源地と反対方向へ変位した
  - 分類 地域は地震発生前に変位がなく地震発生後に震源地方向へ変位した
- 結果として分類 と分類 ・分類 と分類 の地域間で電子基準点間の歪み(相対変位)として残った。



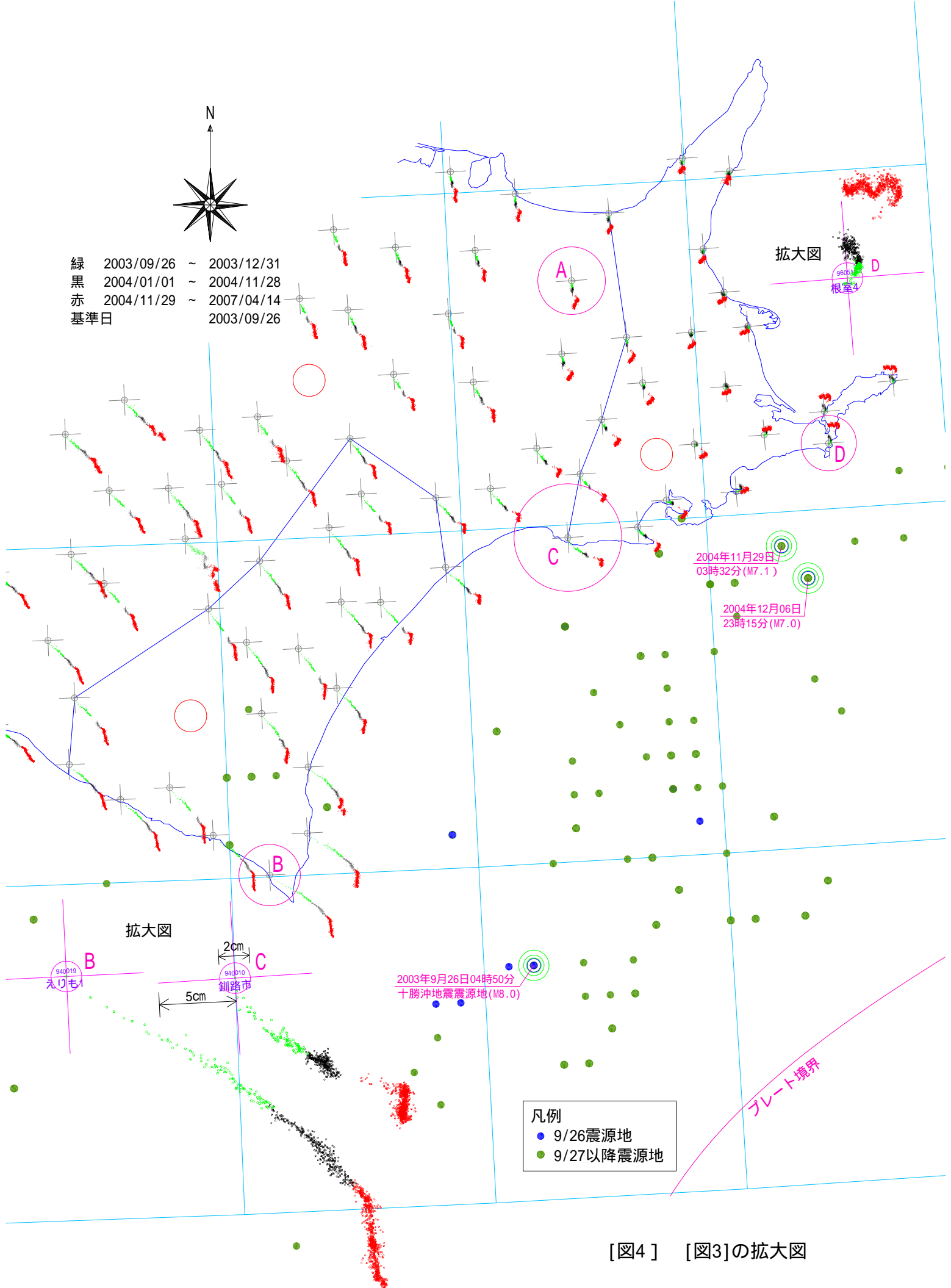


地震による地殻変動量を無視し、地震発生後03年9月26日から07年4月14日までの経年変位を描画した。03年9月26日から03年12月31日までを緑、04年1月1日から04年11月28日を黒、04年11月29日から07年4月14日を赤に色付けし、04年11月29日(M7.1)と04年12月6日(M7.0)の地震から電子基準点位置の変位に与える影響を図示した。

結果から、日々の電子基準点位置の軌跡は地殻変動が継続する間、直線化の傾向を示し、平常時は幅約1cmで進む。また何らかの地殻変動によって進行方向を変えるか、位置が飛ぶことがわかった。この傾向を詳細に観察するため [ 図3 ] を拡大し [ 図4 ] に示した。



緑 2003/09/26 ~ 2003/12/31  
 黒 2004/01/01 ~ 2004/11/28  
 赤 2004/11/29 ~ 2007/04/14  
 基準日 2003/09/26



拡大図

940019  
えりも

2cm

5cm

940010  
釧路市

[図4] [図3]の拡大図

#### [ 図 4 ] の説明

分類 地域の一部は9月26日の地殻変動で震源地と反対方向へ電子基準点位置が変位し、かつ歪みを持ったまま電子基準点位置の変位方向が分類 と概ね一致している(【釧路市】94010・【標茶2】020881・【標茶】960515・【中標津2】020870・【釧路町】960531)。このことから分類 地域内でも歪みが増加したことになる。

分類 地域と分類 地域の境界付近の電子基準点北海道【清里】970784 付近(A)で04年4月27日以降6月30日まで規模の小さな地震が26回発生したと気象庁から報告されている。

マグニチュード5.0以上の震源地を9月26日(青)・9月27日以降を(緑)でプロットしてみると、震源地が分類 と分類 の中間地帯の海域に多く見受けられ、分類 地域の海域でM7.0クラスの地震が2回発生した。

M7.0クラスの地震発生した観測日から07年4月14日までを赤で描画してみると電子基準点位置の変位が地震発生後からプレート境界に沿って進み始めた。

#### おわりに

GEONETにより蓄積されたデータを利活用する中で、十勝沖地震発生前に地殻変位があったことを示す観測データ(03年9月25日)が見つかったことは、驚きとともにその日のデータだけが他の要因に起因したものなのか、煩悶の日々を送っている。そのことについて私自身まだ検証しきれていない。

他にも[図1]拡大図中【釧路市】9400104 00年9月2日の観測点を示したが、その観測値の変位は北海道(一部を除く)東北に及んでいたにもかかわらず、翌3日の観測値の変位は9月1日の位置に戻っていた。この現象の理解のために気象庁ホームページから記事を引用する。「9月3日20時01分に根室半島南東沖を震源地とするM5.2の地震があり、根室市、釧路市など震度2を観測したほか、北海道、青森県、岩手県で震度1を観測した。この地震は00年1月28日の地震(M6.8)の近傍に発生した。」(気象庁 北海道地方の地震活動より)と報じている。詳細については考察していない。

最後にこの発表機会を与えていただいた日本土地家屋調査士会連合会に対し深く謝意を表す。

## 文 献

- 飯村友三郎・中根勝見・箱岩英一（1998）：公共測量教程 T S ・ G P S による基準点測量
- 国土地理院（2001）：測地成果 2000 導入に伴う公共測量成果座標変換マニュアル
- 国土地理院（2003）：ダイナミックな測地基準点体系の実現に向けて・国土地理院技術協議会  
基準点体系分科会（III）報告書 2003 年（平成 15 年）5 月
- 国土地理院（2004）：小特集 電子基準点 1200 点の全国整備について・  
国土地理院時報 2004 No.103
- 国土地理院（2004）：小特集 I 平成 15 年（2003 年）十勝沖地震に対する測地部の取り組み・  
国土地理院時報 2004 No.105
- 小坂和夫（1982）：教程 地図編集と投影
- 飛田幹男（2002）：世界測地系と座標変換