

投稿論文 災害リスクのGPSによる監視 ——地震火山活動と地殻変動——

荒木 春視（環境地質研・株式会社 日豊） 村井 俊治（日本測量協会）

概要

- 1) まえがき
- 2) 電子基準点における日々の座標変動
- 3) 電子基準点間距離の年変動
- 4) 面積変動と自然災害
- 5) 地震・火山・土砂災害リスクの予測

1. まえがき（電子基準点日々座標データの高度利活用）

電子基準点のGPSデータを使用する公共測量では観測時間が短く、測量成果は準拠楕円体上の水平座標であり、標高は標尺による水準測量で決められるが、水平座標との観測日が異なっている。そのうえ成果を1997年値に戻している。そのためにこの測量方法は高い精度と迅速性を要求される災害リスクのリアルタイム監視には適切でない。この問題を解決するのが電子基準点の24時間連続変動観測成果から作成される日々座標データであり、データはXYZ座標と楕円体高が地球重心系で表示されている。なお楕円体高変動は標高変動とみなすことができる。日々座標データは

（準）リアルタイムで一般利用者に広く無償提供されている。なお本研究では地層・岩質の異方性（地質構造・岩石物性）に注目し、地殻変動をXYZ軸ごとに解析・表示した。

2. 電子基準点における日々の座標変動⁶⁾ 2.1 季節的な周期性と年変動

1) 地心X軸

座標値は3月頃に最大、8月に最低となる季節変動を伴いながらの年変動を示す。年変動基線は上昇傾向にあり、館山・西伊豆で大きく、大きな季節変動をもつ小金井では変わらない（図1）。季節変動は降水量に相関する地下水位の変動に逆相似しており（図4）、また、年変動は沈み込む太平洋プレート及びフィリピン海プレートの相互の影響を受け、地域によって異なる。

地心X軸では相対的に見て太平洋プレートの影響が強いが、小金井では影響も小さなものになっている。なお、座標年変動も被害を伴う地震火山活動で大きく

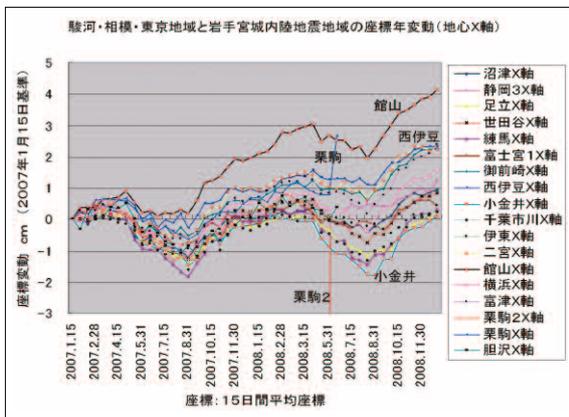
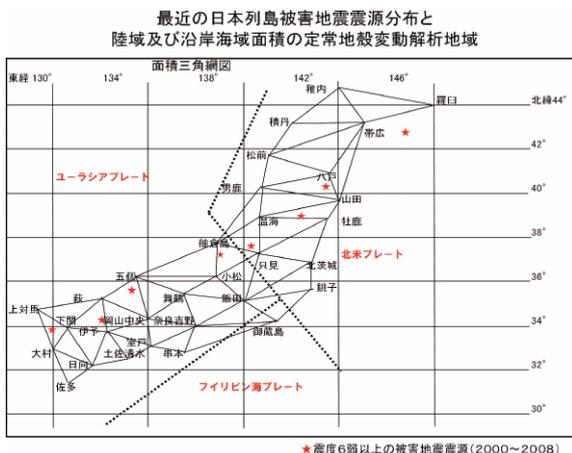


図1 地心X座標の年変動 (2007~2008年/F2座標系)

変わる（例：栗駒・栗駒2）。

2) 地心Y軸

座標値は2～3月に最低、8月に最大となる季節変動を伴いながらの年変動を示す。年変動基線は上昇傾向にあり、西伊豆で大きく、館山では小さい（図2）。季節変動は降水量に相関する地下水位の変動に相似しており（図4）、年変動は沈み込む太平洋プレート及びフィリピン海プレートの相互の影響を受け、地域によって異なる。

地心Y軸では相対的に見てフィリピン海プレートの影響が強い。なお、座標年変動も被害を伴う地震火山活動で大きく変わる（例：栗駒・栗駒2・胆沢）。

3) 地心Z軸

座標値は3月頃に最低、8月に最大となる季節変動を伴いながらの年変動を示す。年変動基線は館山の上昇傾向を除き、一般に下降傾向にあり、静岡3・胆沢で大きく、小金井で小さい（図3）。季節変動は降水量に相関する地下水位の変動に相似しており（図4）、年変動は沈み込む太平洋プレート及びフィリピン海プレートの相互の影響を受け、地域によって異なる。

地心Z軸では相対的に見てフィリピン海プレートの影響が強い。なお座標年変動も被害を伴う地震火山活動で大きく変わる（例：栗駒・栗駒2）。

2.2 日本列島における座標年変動

1) 定常地殻年変動

全国から電子基準点を104点（北海道：20、東北：15、北陸：7、関東：6、伊豆小笠原：6、中部・近畿：14、中国・四国：14、九州：11、南西諸島：9、に加え南大東島と南鳥島）選び、各基準

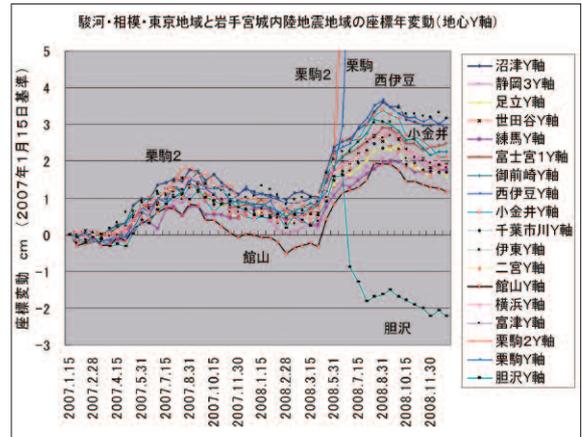


図2 地心Y座標の年変動（2007～2008年/F2座標系）

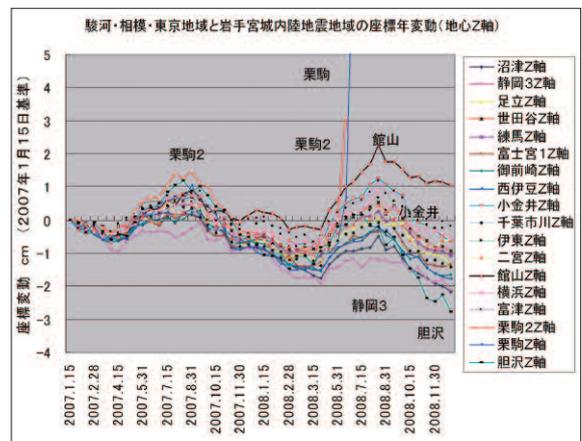


図3 地心Z座標の年変動（2007～2008年/F2座標系）

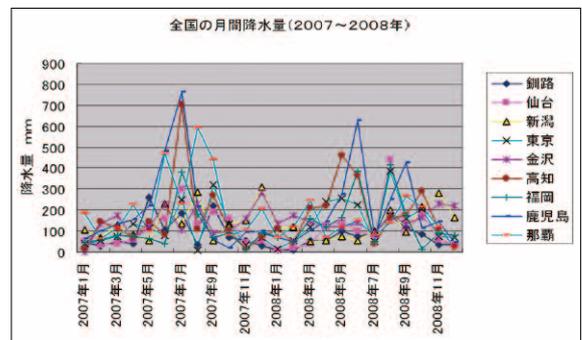


図4 全国各地の月間降水量変動（2007～2008年）

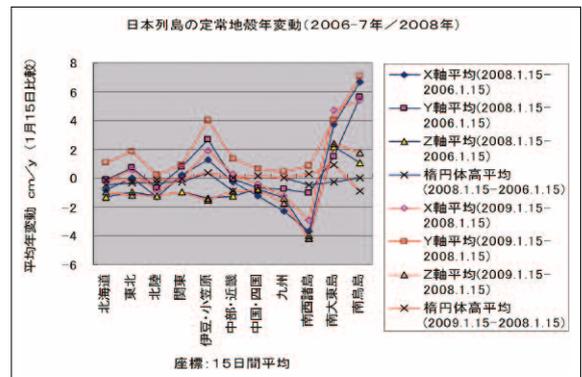


図5 日本列島の定常地殻年変動（2006・2008年/F2座標系）

点ごとに1月1日から15日間の平均座標の前年差を求め、更に地域ごとに再平均し、これを平均定常地殻年変動とした。

定常地殻年変動では南鳥島（太平洋プレート）は約6cm/年、南大東島（フィリピン海プレート）は約4cm/年の速度で西方へ動き、伊豆小笠原（フィリピン海プレート）は約3cm/年の速度で南西に進んでいる。南西諸島（ユーラシアプレート）はフィリピン海プレートの沈み込みを受けて南東へ約4cm/年の速度で動いている（図5、表1）。プレートの沈み込み域では巻き込まれる際の摩擦歪み応力が開放されることで地震が頻発し、不可逆的な座標変動が進行していく。このように定常地殻年変動にはプレートの沈み込みの影響が強く反映されている。

2) 非定常地殻変動

全国から電子基準点を104点選び、各基準点ごとに8月1日から15日までと1月1日から15日までの平均座標の差を求め、この間の定常地殻変動を差し引いたものを地域ごとに再平均し、これを平均非定常地殻変動とした。非定常地殻変動には地下水位（降水量）の影響が強く反映されており、楕円体高の平均非定常地殻変動が+2cmを超える地域は日本列島に広

がる（図6、表1）。

3) 楕円体高の定常地殻年変動と非定常地殻変動

平均定常地殻年変動では+1cmを超えることは無い。しかし夏季には地盤が隆起し、平均非定常地殻変動の+2cmを超える地域が全国的に広がる（表1）。地盤の隆起（楕円体高上昇）は地層の間隙が地下水で過飽和になると地殻変動による押し上げがなくても起きる。地層間隙が水で飽和され、過剰水圧状態に至ると地層のせん断抵抗が落ち、土砂災害が起こりやすくなる。

急激な降水量変動により地下水位（地層間隙水圧）が上昇・下降すると、楕円体高（地盤）は隆起または沈下し、周辺地域に水平変動を起す。これは火山にお

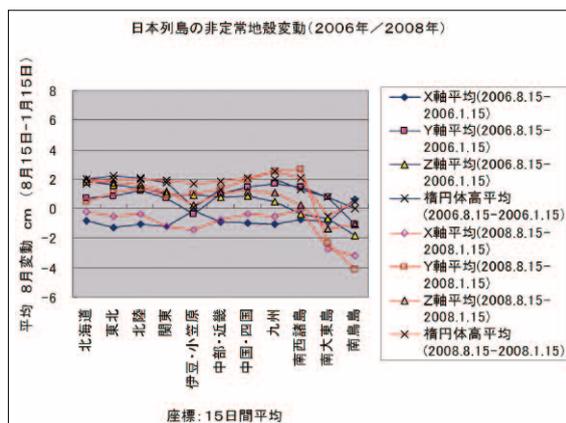


図6. 日本列島の非定常地殻変動（2006・2008年/F2座標系）

表1. 日本列島の地殻変動

地殻変動		座標平均変動量 ±3cm以上	座標平均変動量 ±2~3cm	備考（変動方向）
定常年変動	地心X軸	南西諸島（-）・南大東島（+） 南鳥島（+）	九州（-）	（+）概ね北西方向 （-）概ね南東方向
	地心Y軸	伊豆小笠原（+）・南大東島（+） 南鳥島（+）		（+）概ね南西方向 （-）概ね北東方向
	地心Z軸	南西諸島（-）	南大東島（+）	（+）概ね天頂・北極方向
非定常変動	地心X軸	南鳥島（-）	南鳥島（-）	（+）概ね北西方向
	地心Y軸	南鳥島（-）	中国四国（+）・九州（+） 南西諸島（+）・南大東島（-）	（+）概ね南西方向 （-）概ね北東方向
	地心Z軸		北海道（+）	（+）概ね天頂・北極方向
	楕円体高		東北（+）・北陸（+）・中国四国（+） 九州（+）・南西諸島（+）	（+）隆起 （-）沈下

けるマグマの上昇・下降による山体の膨張・収縮に似ている。ここで急激な地下水位変動に挟まれた地域は水平方向の圧縮力・引張力を受け、そこにはせん断力が働く。時には地震発生の引き金になる。

後には大きな揺れのみで、地盤変動は観測されていない。ところが暫くたってから地盤は大きく変動し、地すべり・崩壊を誘発している⁷⁾。

2.3 内陸直下型地震・プレート境界地震と地震前後年の座標年変動速度

1) 内陸直下型地震前後年の座標年変動速度

2007年に能登半島でM6.9、新潟県中越沖でM6.8の浅部プレート内地震が発生した。断層に動き（地殻変動）があって地震が起きたものであれば、地震震源域では周辺域より大きな定常地殻年変動が推測されるのであるが、北陸での定常地殻年変動は-2cm以内で、格別の変化は認められなかった（図7）。定常地殻年変動で地殻に歪が溜まり地震を起こしたとは考えにくい。歪み開放の軌跡が見られない。

2008年には岩手県と宮城県の県境でM7.2の浅部プレート内地震、また岩手県沿岸北部でM6.8の深部プレート内地震が発生した。断層に動き（地殻変動）があって地震が起きたものであれば、震源域では地震直後に大きな変動があり、周辺域より大きな地殻変動が推測される。しかし地震震源域および周辺域では地震直

東北での定常地殻年変動は地震震源域周辺の水沢で約+7cm、気仙沼で約+4cm、山田で約+2cm、象潟で約-2cmが観測されている（図8）。地震で動いた地盤は翌年でも旧に戻っていない。東北でも地震震源域から遠く離れた地域では1~2cmの定

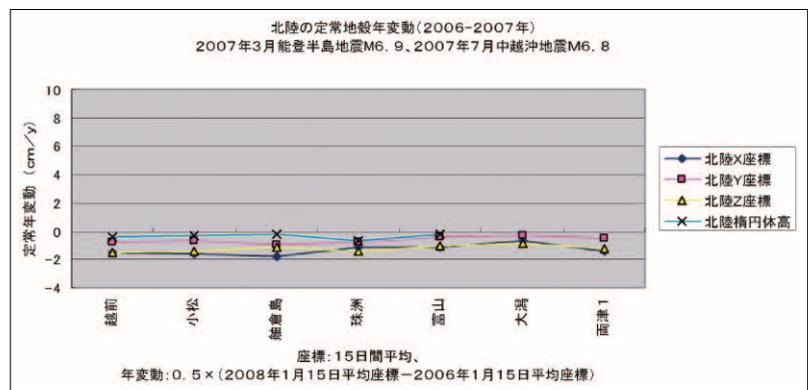


図7. 能登半島・中越沖地震と北陸定常地殻年変動（2006-2007年/F2座標系）

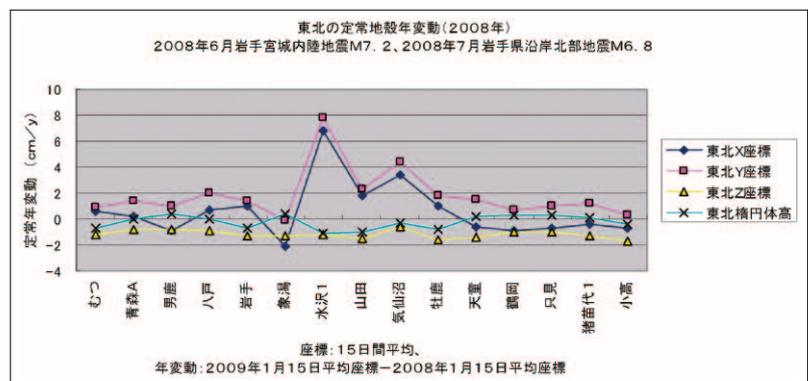


図8. 岩手宮城・岩手沿岸北部地震と東北定常地殻年変動（2008年/F2座標系）



図9. 2008年地震前の東北定常地殻年変動（2006-2007年/F2座標系）

常地殻年変動で、北陸と格別変わらない。

また2006-2007年の東北の定常地殻年変動を見ると1~2cmで水沢周辺に地震の前兆として推測できる格別の変化は認められない(図9)。

地震は断層が動いて発生するのであれば、断層の伸縮変位を監視すればよいのであるが、変位しない地震もある。地殻が変位する前の弾性歪みを監視するのであれば、広域の地盤伸縮・上下動の監視が必要になる。また、直近の地震予知は地殻変動歪みの時間変化から亀裂の加速的な拡大の始まりを捕捉するのでなければ難しい。地震予知の難しさの一つに震源(岩質の異方性・地質構造が関連)と要因(応力歪み場)の地理的配置が必ずしも一致しない点にある。

2) 座標変動速度変化とプレートの沈み込み(中央日本横断)

座標年変動速度はプレートの沈み込みに関係している。太平洋プレートは太平洋の日本海溝から沈み込み、日本海側では地下200km弱に達していると推測されている。

地心X軸では日本海側(大潟~越前)が1~2cm/年の速度で南東に、太平洋側(御蔵島~母島)が1~4cm/年の速度で北西に向かう。東西圧縮場の中で均衡する関東(北茨城~世田谷)では速度が0cm/年になっている。しかし夏季では少々変わり、日本海側(大潟~越前)が3cm/年の速度で、関東(北茨城~世田谷)が2cm/年の速度で共に南東に向

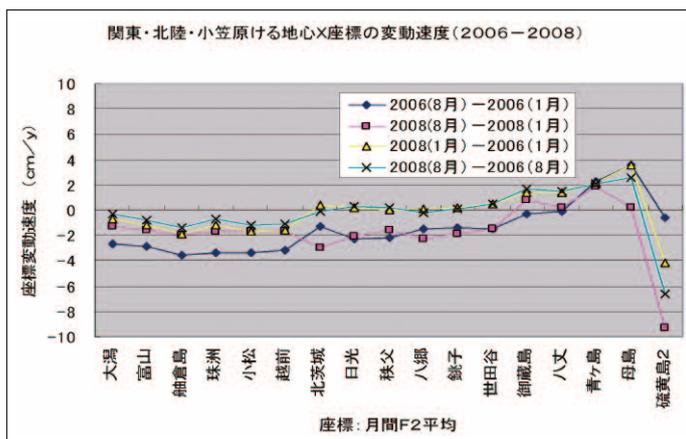


図10. 日本海側~太平洋側~小笠原海域(本州横断)の地心X座標変動速度分布

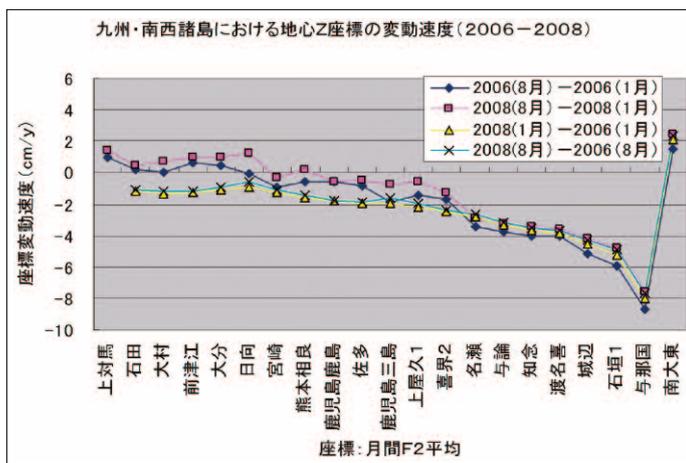


図11. 日本海側~太平洋側~南西海域(九州縦断)の地心Z座標変動速度分布

かい、太平洋側(御蔵島~母島)では0~2cm/年の速度で北西に動く。関東は夏季になると南東へ張り出す。なお硫黄島2は北西への動きを止めることがない(図10)。

3) 座標変動速度変化とプレートの沈み込み(九州縦断)

フィリピン海プレートは太平洋の南海トラフ・琉球海溝から沈み込み、九州中部では地下200km、東シナ海側では地下100kmになると推測されている。座標年変動速度はプレートの沈み込みに関係しており、地心Z軸では九州北部(上対馬~宮崎)が1cm/年、九州南部(熊本相良~上屋久1)が2cm/年、奄美諸島(喜界2~渡名喜)が3~4cm/年、沖縄

諸島（城辺～与那国）が5～8 cm/年と、九州から沖縄（南西）諸島に向かうに連れて地心（南）への移動速度を増大、ユーラシアプレートへのフィリピン海プレートの沈み込み速度が速くなっている（図11）。しかし夏季では少々変わり、九州北部（上対馬～日向）が1cm/年の速度で天頂（北）へ、九州南部（宮崎～喜界2）が1cm/年、奄美諸島（名護～渡名喜）が3～4cm/年、沖縄諸島（城辺～与那国）が5～8cm/年の速度で地心（南）への移動速度を増大する。九州北部・九州南部は夏季になると天頂（北）へ動き出す。なお琉球海溝東側の南大東島（フィリピン海プレート）では速い沈み込みの皺寄せで2cm/年の速度で天頂（北）へ向けて動いている。

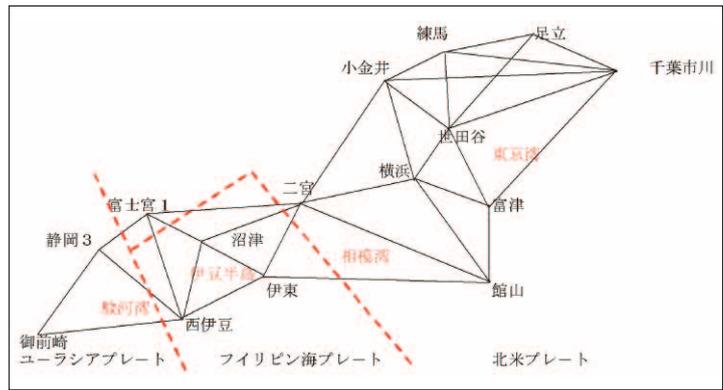


図12. 二点間距離の年変動解析地域概略図（2007～2008年/F2座標系）

3. 電子基準点間距離の年変動

3.1 二点間距離変動^{1) 5)}

1) 2007-2008年における二点間距離年変動

二点間（図12）の年変動速度はプレートの沈み込みで日々の増減を繰り返しながら増大もしくは減少し、多くは±0.5ppm/年以下であるが、変動速度は区間で異なる（図13-図15）。全体的に2007年よりも2008年で距離変動が大きく、顕著になるが、その要因の主役は地震・豪雨であって周期的な季節変動ではない。

2008年岩手宮城内陸地震の前

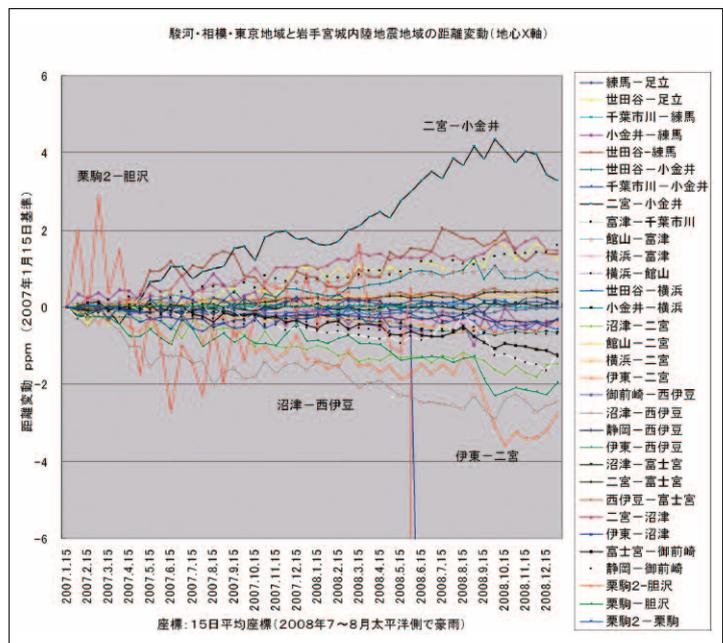


図13. 二点間距離の年変動（2007～2008年/地心X軸、F2座標系）

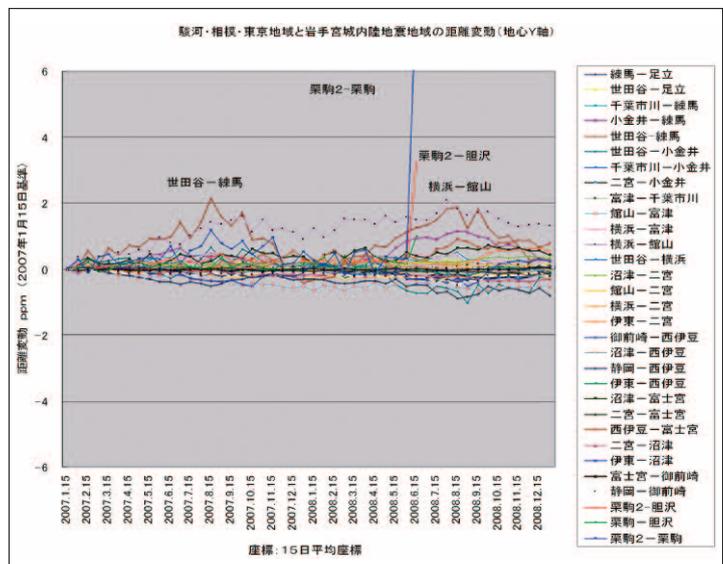


図14. 二点間距離の年変動（2007～2008年/地心Y軸、F2座標系）

年に栗駒2-胆沢 (X軸) 間で大きな伸縮揺らぎが現れ (図13)、2008年7~8月の異常豪雨では練馬・世田谷・千葉市川-小金井間の二点間距離が大きく伸びている (図15/Z軸)。2008年が2007年よりも地殻変動が特に活発化したわけではない。

またフィリピン海プレート/北米プレート間 (伊東-二宮・館山・富士宮1)、フィリピン海プレート/ユーラシアプレート間 (西伊豆-静岡3・御前崎) の伸縮は伊豆半島東方沖地震の震源域 (2006年4月最大震度5弱) を挟む伊東-二宮間が最大で年間約1.5ppm (X軸) 広がっている。

3.2 内陸直下型地震・プレート境界地震と地震前後年の伸縮年変動

1) 内陸直下型地震の前後年における二点間距離変動

2007年能登半島M6.9、新潟県中越沖M6.8、2008年岩手宮城県境M7.2の浅部プレート内地震、岩手県沿岸北部M6.8の深部プレート内地震が発生した。

新潟県中越沖地震では地心X軸の松本・大潟・只見-長野間距離は地震発生年に縮んだ (圧縮場) が、翌年は変化が殆どなく、元に戻ることもなかった。また同年、室戸-明石間では広がり (引張場) が観測されており、2008年に大阪湾で明石を震源とす

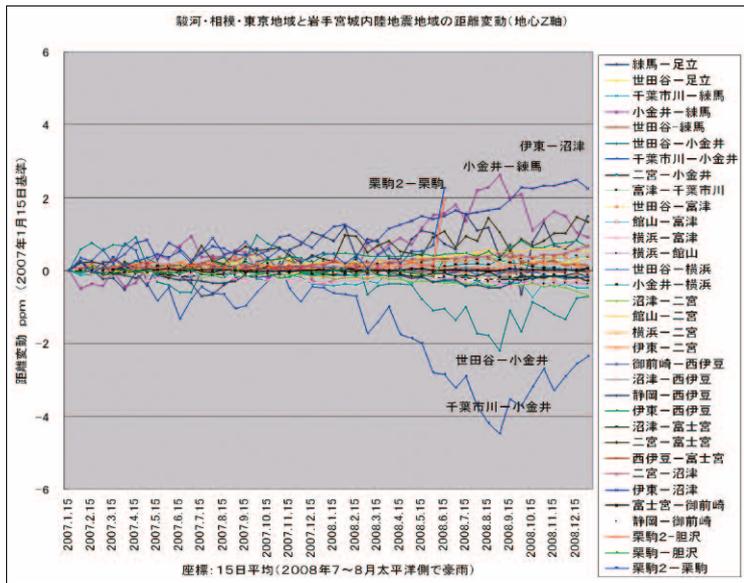


図15. 二点間距離の年変動 (2007~2008年/地心Z軸、F2座標系)

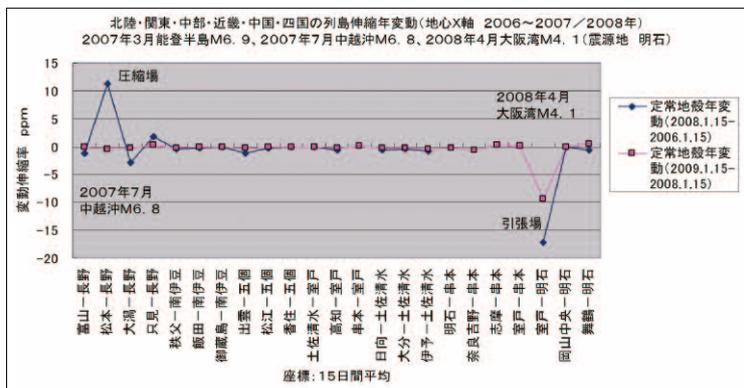


図16. 中越沖地震と西南日本の伸縮年変動 (F2座標系)

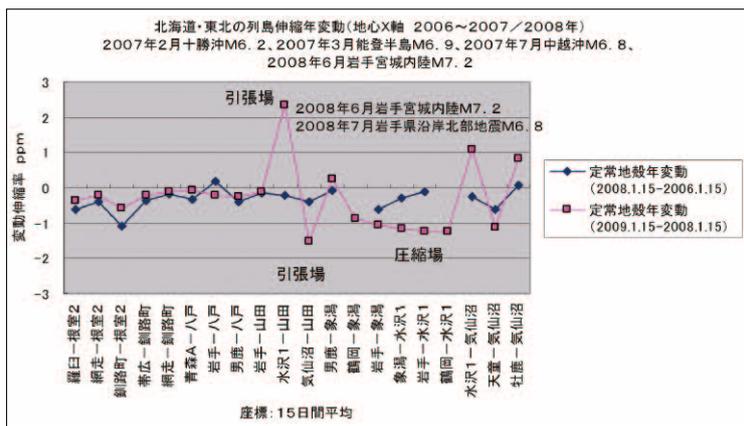


図17. 岩手宮城・岩手沿岸北部地震と東北日本の伸縮年変動 (F2座標系)

るM4.1地震 (深さ10km、最大震度4) が発生している (図16)。この伸びは地震翌年でも継続しており、歪みの蓄積は地震後も継続している。大阪湾の大規模海域埋めたての影響も否定できない。

岩手宮城県境内陸地震・岩手県沿岸北部地震では地心X軸の水沢1・気仙沼-山田間が広がり（引張場）、鶴岡・象潟・岩手-水沢1間で縮んで（圧縮場）いる（図17）。水沢1を挟んで東側で伸び、西側で縮んでいる。なお震源域は水沢1の西側に広がっている。

地震前年の二点間距離変動は概ね±0.5ppm以下で前兆は発見できない。二点間距離の経年変化はトレンドを持つが、漸移的・連続的ではなく、イベント（地震活動）による段階的・不連続的な現象である。

2) プレート境界域の伸縮年変動と地震活動

フィリピン海プレートが太平洋を北上、北米プレート・ユーラシアプレート（本州）に衝突して形成されたのが伊豆半島である。父島はフィリピン海プレートに乗って現在も北上を続けている。フィリピン海プレートが本州の北米プレート・ユーラシアプレートに沈み込むことで地殻に歪エネルギーが貯まり、主に関東以西の地震を誘発する。

北上する父島は伊豆諸島・東海・南関東との距離を毎年縮め、南関東間では2008年の縮みが2007年の2倍以上になっている（地心X軸）。地心Y軸では父島と伊豆諸島・南関東間が毎年、広がり、東海（御前崎以西）では縮まっていく傾向にある。地心Z軸では父島と伊豆諸島・東海・南関東間の距離が毎年縮まっている（図18）。

地震活動は太平洋プレート・フィリピン海プレートが沈み込む北米プレート（関東・東北）で活発であるが（図19）、ユーラシアプレート（南西諸島）でも活発である。南大東島（フィリピン海プレート）と知念・渡名喜（ユーラシアプレ

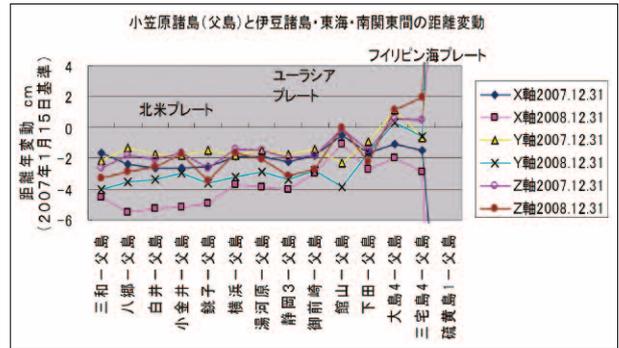


図18. フィリピン海/北米・ユーラシアプレート間の距離年変動 (F2座標系)

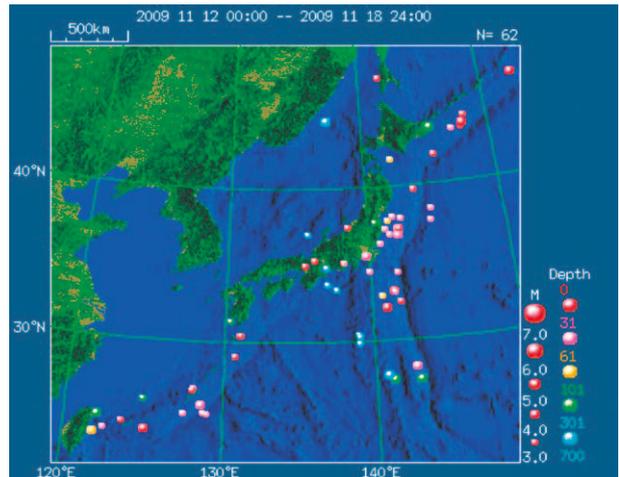


図19. 1週間 (2009.11.12~2009.11.18) のM3以上地震 (気象庁HPから)



図20. フィリピン海プレート/ユーラシアプレート境界域の伸縮年変動 (F2座標系)

ート) 間に琉球海溝があり、地心Z軸では南大東島の沈み込みに引きずられ、知念（沖縄本島）・渡名喜（渡名喜島）間の距離は毎年縮まっている（図20）。

3.3 火山活動と伸縮年変動

1) 桜島の爆発的噴火と山体の収縮

2008年3月から7月にかけて爆発的噴火

が続いた。その頃、二点間距離の変動速度 (ppm/年) が鹿児島3-桜島で+5 (X軸)、鹿児島2-桜島で+7 (Y軸)、+5 (Z軸) に達しており、山体収縮 (三次元圧縮場) は噴火前の2008年1月からが始まっていた (図21)。

2) 阿蘇山の火山性地震増加と圧縮応力場

2008年11月に長陽-阿蘇間 (X軸) が-1ppm変動 (縮む/圧縮) した際に火山性地震が観測された。その他の期間では火山活動、距離変動の何れにおいても安定状態が続いている (図22)。

3) 浅間山の小噴火・噴煙活動と圧縮応力/

引張応力

2007年に活発な噴煙活動を続け、2008年6月に小噴火。X軸・Z軸での変動は比較的静穏であるが、Y軸の浅間山を挟む嬬恋-軽井沢間では2007年に小さな変動が断続的に続いていた。2008年5月から8月にかけて変動速度 (ppm/年) が+12に増大し、応力場も引張場から圧縮場に変わり、小噴火。そのあと-50まで激減している。一方、南牧-軽井沢間では+17に増大、応力場が圧縮場から引張場に変わり、浅間山を挟む南牧/嬬恋

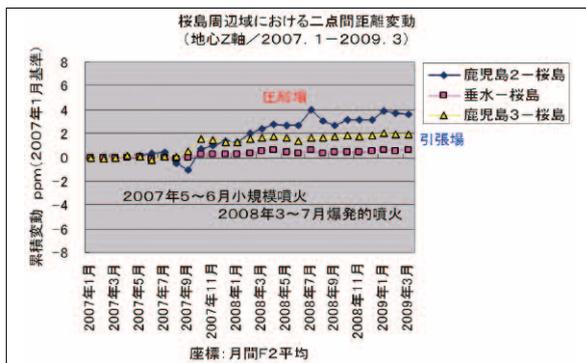
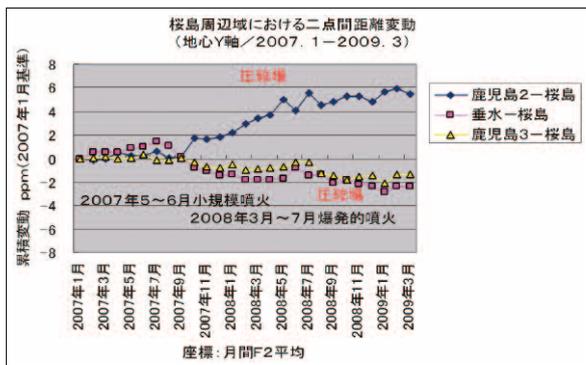
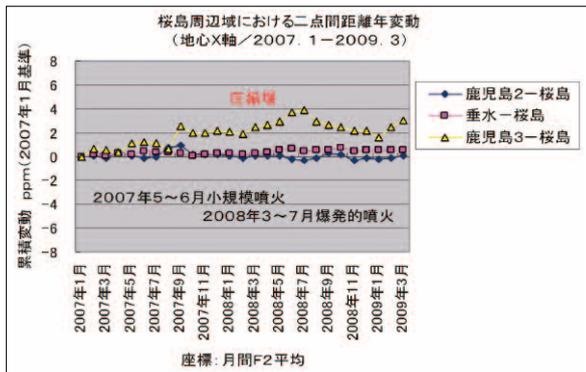


図21. 桜島の火山活動と山体の二点間距離変動

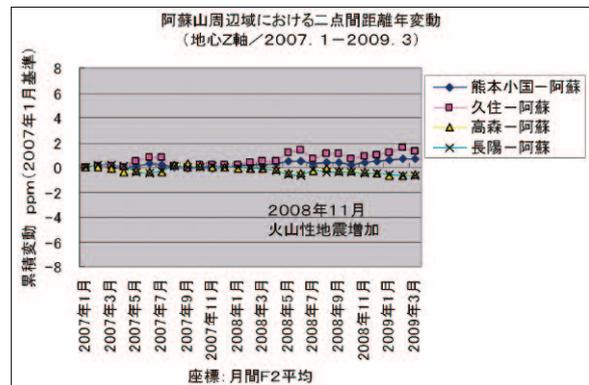
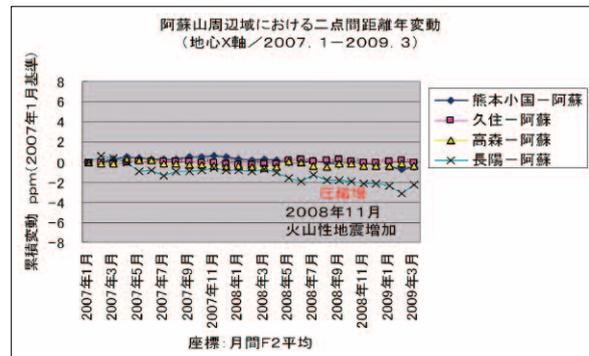


図22. 阿蘇山の火山活動と山体の二点間距離変動

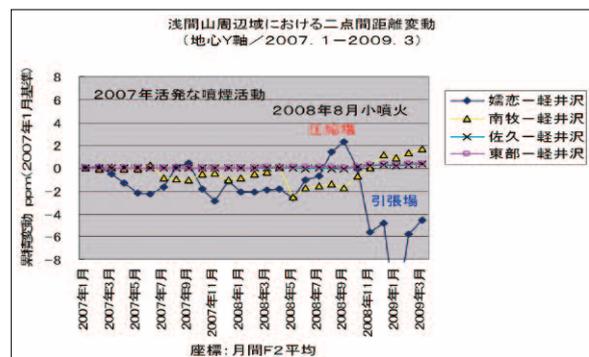


図23. 浅間山の火山活動と山体の二点間距離変動

間にセン断力が働き浅間山は小噴火している (図23)。

4) 噴煙・小噴火・爆発的噴火と応力場変動

火山活動は山体の応力場変動に連動しており、応力場変動は二点間距離変動から監視できる。桜島は圧縮応力場に包まれ、山体収縮が急激に進むと火口に溜まっていたマグマが爆発的に放出される。浅間山の小噴火は山体に働いたセン断力(圧縮場/引張場)で火道が開き、火口に溜まっていたマグマが噴出、噴煙は山体の引張亀裂に地下水が混じって噴き上げられたものと、応力場の解析から推測される(表2)。

表2. 火山の爆発・小噴火・噴煙活動と山体の応力場変動(2007年1月基準)

火山活動	山体の応力場変動			備考
	地心X軸	地心Y軸	地心Z軸	
爆発的噴火	鹿児島3-桜島 (+2~+4ppm)	鹿児島2-桜島 (+3~+6ppm)	鹿児島2-桜島 (+2~+4ppm)	桜島 (山体収縮)
小噴火	鹿児島3-桜島 (+1ppm)	垂水-櫻島 (+1ppm)		桜島 (セン断応力)
小噴火		嬬恋-軽井沢 (+1~+2ppm)		浅間山 (圧縮力)
噴煙		嬬恋-軽井沢 (-2~-1ppm)		浅間山 (引張力)
火山性地震	長陽-阿蘇 (-2ppm)			阿蘇山 (圧縮力)

4. 面積変動と自然災害

4.1 沈降する日本列島

2006-2008年における列島骨格の面積年変動(面積年変動量/面積)は1ppm以下であるが、列島では継続的に面積が減少している(図24)。将来、太平洋側海岸線の後退により安全・安心面からの諸問題が懸念される。なおXY面は地球重心を原点とする赤道面、XZ面は経度0度グリニッチを通る地球重心を原点とする赤道面に垂直な面、YZ面は地球重心を原点とするXZ面と90度交差する赤道に垂直な面である。



図24. 2006-2008年の日本列島における面積年変動(列島沈没/四国・日向灘)

4.2 直下型地震前後年の広域面積変動

2008年岩手・宮城県境内陸地震で、岩手-水沢1の南北線の、東側(太平洋側)が面積拡大、西側(日本海側)が面積縮小している。新潟県中越沖地震では只見-長野の南北線の東側(太平洋側)のXZ面で面積拡大、西側(日本海側)のYZ面で面積縮小している。地震前後の面積変動は1ppmを超えている(図25)。

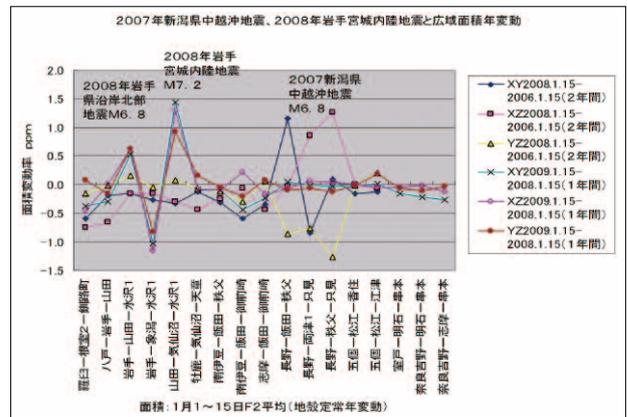


図25. 2007新潟県中越沖・2008岩手宮城内陸地震前後の広域面積変動

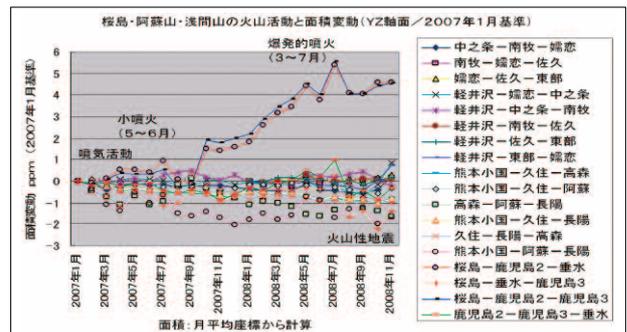


図26. 爆発的噴火・小噴火・噴煙活動・火山性地震とYZ面の面積変動

4.3 爆発的噴火・小噴火・噴気・火山性地震と面積変動

桜島・垂水・鹿児島3-鹿児島2の面積拡大(山体隆起)(YZ面)が3ppmを超え、爆発的噴火を起している。小噴火では面積拡大が1ppmを超えない(図26)。

5. 地震・火山・土砂災害リスクの予測

電子基準点における日々の座標変動、電子基準点間距離の年変動、面積変動は降水量、沈み込むプレート等の影響を受け、地域で異なった時系列変化を示す。また定常地殻変動から中・長期的な災害リスク、非定常地殻変動から短期的な災害リスクが予想されるにしても、地域の特特定と前兆の捕捉は難しい。しかし地域の特特定は細分化されたGPS電子基準点三角網の面積年変動から、また前兆の捕捉は細分化された三角網の面積日変動を監視することで予測(場所・規模・期日)の的中率を高めることができる。^{2) 3) 4)}

1) 海域の面積変動と2003年十勝沖地震

2003年9月26日十勝沖地震M8.0前後の面積日変動を解析すると、地震12日前の海域△襟裳-釧路-三沢(震源域)のXY・XZで面積縮小(地震前兆)が起き、地震でXY・XZは大きく反転拡大している(図27)。

2) 2004年新潟県中越地震と2007年新潟県中越沖地震

2004年M6.8地震で歪みエネルギーが開放されてから3年後の2007年7月16日に再びM6.8地震が発生している。地震1ヶ月前から△小千谷-出雲崎-柏崎(震源近傍)のXY・XZで面積拡大(地震前兆)が続いていた。しかし地震後に面積はXYで大きく拡大し、XZで大きく縮小している(図28)。

3) XZ面で顕著な変動と岩手宮城内陸地震⁷⁾

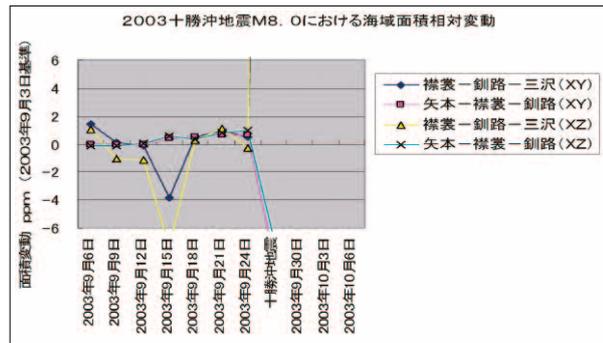


図27. 2003年十勝沖地震直前の海域面積変動

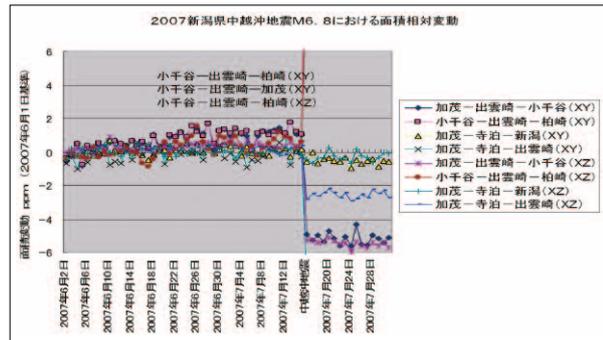


図28. 2007年新潟県中越沖地震直前の面積変動

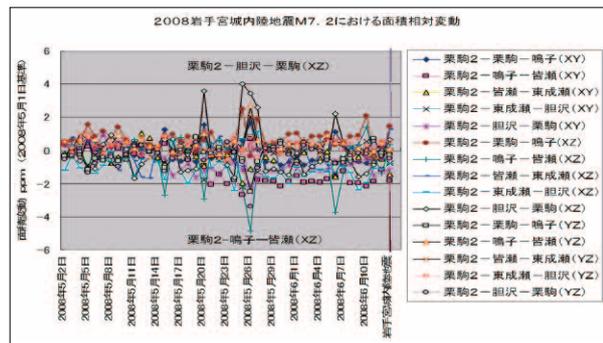


図29. 2008年岩手宮城内陸地震直前の面積変動

2008年6月14日岩手宮城内陸地震M7.2では地震が午前8時43分に発生したが、午前9時以降まで電子基準点における日々の座標データには地震変動が観測されていない。地震発生は震度6強の揺れをもたらしたが、そのとき変位は起きていなかった。

しかし△栗駒2-胆沢-栗駒(本震源域)と△栗駒2-鳴子-皆瀬(余震源域)のXZでは地震25日前から面積変動の揺らぎが顕著に起きており(地震前兆)、地震当日の午前9時以降に大きく面

積が縮小した（図29）。

6. 総括と今後の展望

地球楕円体面に落とした平面座標と水準測量の二本立による従来型の地殻変動解析では時系列解析において十分な精度が得られなかった。しかし電子基準点日々データにより同時刻の三次元空間座標が0.1mmまで観測できるようになり、日々座標の時系列変化が追跡できるようになった。プレートの動き、火山の膨張収縮、地盤の動きを空間座標の時間変位として、四次元解析が可能になり、座標、二点間距離、面積の日変化から地震火山噴火の中長・短期的な予測も可能になってきた。それは電子基準点で観測された座標データを直接、解析することにより、平面座標系に落とすことから生じる空間座標系からのズレが排除でき、精度を向上させることができたからと推測される。

今後の課題は過去10年以上のGPS長期観測データを解析し、地震火山噴火予測精度の検証を通して、リスクの予測から予知までの精度を高めていくことである。

■謝辞

本論文について（株）日豊の田中 穰（元鹿児島大・国土地理院）氏から有益な助言を多々頂いた。ここに深く感謝する。

■参考文献

- 1) 荒木春視・藤井陽一郎・田中 耀：電子基準点を利用する防災DGIS（動的地理情報システム）、日本測量調査技術協会、APA No. 80-1, pp. 1-7（2001）
- 2) 村井俊治・荒木春視：衛星測位システムを用いた地震・火山噴火予知、日本測量協会、測量 Vol. 53, No. 6, pp. 21-24（2003）
- 3) 荒木春視・村井俊治：GPSを用いた地震予知、朝倉書店、測量工学ハンドブック pp. 251-257（2005）
- 4) 荒木春視・村井俊治：地震・噴火予知方法、特許第3763130号（2006）
- 5) 荒木春視・山口範洋：地盤災害予測方法、地盤災害予測システム及び地盤災害予測プログラム、特許第4139229号（2008）
- 6) 荒木春視：電子基準点の配信データを利用した地殻変動解析、日本測量協会、実務者向け地理空間情報の流通と利用、pp. 129-136（2008）
- 7) 荒木春視・村井俊治：岩手・宮城内陸地震前後の地殻日変動と土砂災害、日本写真測量秋季学会発表論文集pp. 139-142（2008）

■発表者

荒木春視（あらき はるみ）

（財）資源科学研究所、（株）ダイヤコンサルタント、東洋航空事業（株）、朝日航洋（株）を経て、現在、（有）環境地質研究室を主宰、（株）日豊 技術部長

E-mail：arakey@mbf.ocn.ne.jp

村井俊治：東京大学名誉教授、（社）日本測量協会会長、（社）日本写真測量学会会長