

# GPS 観測データから見た北アルプス立山における最近の地殻変動

道家涼介<sup>1)\*</sup>・竹内 章<sup>2)</sup>・安江健一<sup>1)†</sup>・畠本和也<sup>1)</sup>・松浦友紀<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 富山大学大学院理工学教育部・<sup>2)</sup> 富山大学大学院理工学研究部・<sup>3)</sup> 日本 GPS ソリューションズ株式会社・  
† 現所属: 日本原子力研究開発機構

## Recent Crustal Movement Inferred from GPS Observation of Mt. Tateyama, Northern Alps, Central Japan

Ryosuke Doke<sup>1)\*</sup>, Akira Takeuchi<sup>2)</sup>, Ken-ichi Yasue<sup>1)†</sup>, Kazuya Hatamoto<sup>1)</sup> and Yuki Matsu'ura<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Science and Engineering for Education, University of Toyama, <sup>2)</sup> Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, <sup>3)</sup> Nippon GPS Solutions Corporation, † Present address: Japan Atomic Energy Agency

### Abstract

We have performed GPS campaign observations at Jododaira, Tateyama Mountains, Northern Alps, central Japan, since 1996. From the result of 10 years of observations, we detected remarkable crustal movement around the Tateyama Mountains. Jododaira station has moved toward WSW at  $4.2 \pm 0.4$  mm/yr and uplifted at  $3.8 \pm 0.6$  mm/yr during the period from 1996 to 2004, with respect to the GEONET Toyama station that is assumed as fixed. The acceleration of horizontal movement at Jododaira station started from 2000-2001. A possible reason of the acceleration is the effect of slow slip event on the Tokai subduction zone, which started from 2000.

**Key words:** GPS observation, Hida Mountains, Mt. Tateyama, crustal movement

### 1. はじめに

現在日本国内には、国土地理院による GPS 観測網 (GEONET) が約 1,200 点展開されている。その結果、地殻変動を準リアルタイムでモニタリングでき、地震時及びその前後の変動なども容易に知ることが可能である。また古くから観測が行われている観測点では、10 年以上の観測データが得られており、新潟-神戸構造帯 (Sagiya *et al.*, 2000) の発見や、日本列島の上下変動の把握 (村上・小沢, 2004) などに貢献している。GPS 観測によって得られる上下変動量は、水平変動量に対し誤差が大きいものの、10 年以上という GPS 観測において比較的長い期間のデータを用いて上下変動の傾向を把握することは可能である。村上・小沢 (2004) は、GEONET の観測点の内 950 点のデータから日本列島の上下変動について考察しており、例えば、中部地方の山岳域が、日本列島

全体からみると、沈降傾向にあることを示した。しかし、山地における GPS 観測点の多くは盆地などの低地に設置されており、実際に標高の高い場所ではほとんど観測が行われていないという問題がある (村上・小沢, 2004)。

我々は、山岳域における地殻変動の検出を目的とし、北アルプス立山連峰の浄土平 (Fig. 1) において年 1 回〜数回の GPS キャンペーン観測を 1996 年から実施している。近年、GEONET の観測点には、山岳域に設置されたものもあるが、10 年以上の長期間のデータという点では、我々が実施している浄土平における GPS 観測は重要なデータであり、山岳域における現行の地殻変動の把握に役立つデータである。本論では、浄土平での GPS キャンペーン観測と観測データの解析結果を報告し、その結果を用いて北アルプス立山周辺の地殻変動について考察する。

\* e-mail: d0671304@ems.u-toyama.ac.jp (〒930-8555 富山市五福 3190)

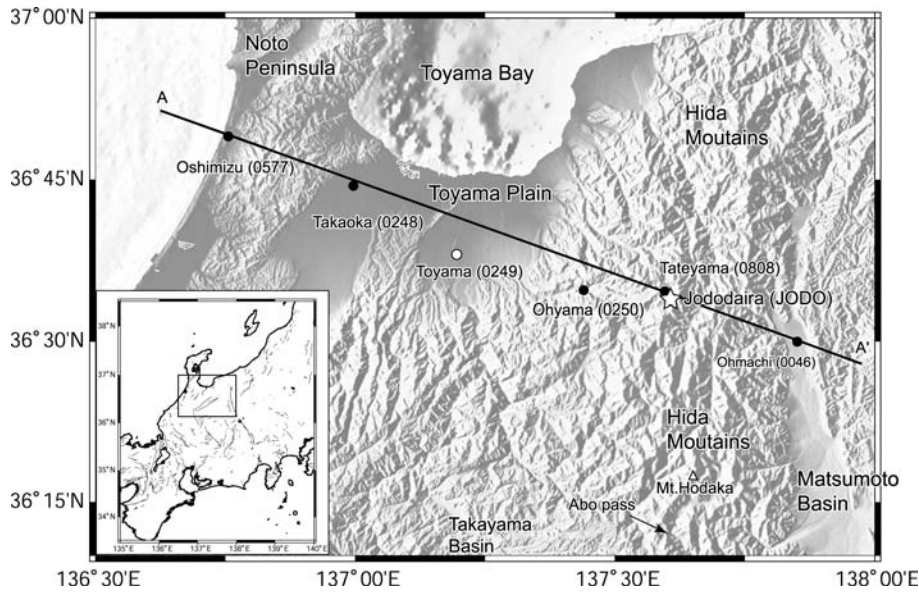


Fig. 1. Index map of Jododaira and GEONET stations used in this paper. Solid line (A-A') indicates location of profile line in Fig. 6.

## 2. テクトニックセッティング

本論におけるキャンペーン観測点である浄土平観測点は、飛騨山脈北部の立山連峰に位置する。飛騨山脈は、富山、新潟、岐阜、長野の4県にまたがって、南北に延びる山脈であり、3,000 m級の山々が軒を連ねる日本有数の山脈である。

現在の飛騨山脈は、地震活動が活発な地域であり、特に南部から中部にかけての範囲で、1998年8月から約1年間、上高地付近を中心として最大M 5.4の地震を含む群発地震が発生した(和田ほか, 2000)。この群発地震は、飛騨山脈南部上高地付近を中心として発生し、地震活動域が北方へ遷移した後、再び南方へ遷移した(和田ほか, 2000)。また、この地震のメカニズムの大部分は北西-南東圧縮を示す横ずれ型であった(和田ほか, 2000; 岩岡ほか, 2000)。

飛騨山脈西側の飛騨高原では、跡津川断層系をはじめとするNE-SW走向の横ずれ型の活断層、平野部ではNE-SW走向の逆断層が分布するのに対し、東側では、NE-SW走向の逆断層に加え、糸魚川-静岡構造線活断層系などに代表されるN-S走向の逆断層も分布する。飛騨山脈の稜線部においては、顕著な活断層は認められないものの、跡津川断層系と同様に横ずれ断層区に属し(活断層研究会, 1991; 垣見ほか, 2003)、これを支持するように先述の群発地震などは横ずれ型のメカニズムが顕著である。また、NE-SW方向に延びる新潟-神戸構造帯は、飛騨山脈および糸魚川-静岡構造線活断層系に代表されるN-S系の構造を、横切って延長するように見える。

鷺谷・井上(2003)は中部地方における約100年間の水準測量の成果をまとめており、水準路線が飛騨山脈を横切る野麦峠周辺は、その西に位置する高山盆地、東に位置する松本盆地に比べ有意な隆起を示す。一方、信州大学理学部の研究チームは、焼岳周辺および西穂高においてGPS観測を行っており(角野ほか, 1997; 角野, 2000)、その結果によると、西穂高に位置する栗尾観測点(角野, 2000)は、1994~2000年の間、松本盆地に位置する信州大学理学部(信大観測点)に対して、1998年の群発地震発生前後を除いて、顕著な上下変動を示さないが、群発地震発生前後には水平方向の変動の加速と、一時的な沈降が認められる。

## 3. 観測の概要

浄土平観測点は、飛騨山脈の北部の立山連峰に位置し、その座標値は、北緯 $36^{\circ}33'59.17''$ 、東経 $137^{\circ}36'21.25''$ 、標高2,839 mである(Fig. 1, 座標は世界測地系; 本研究の観測による)。浄土平にある富山大学立山研究施設の敷地内において、花崗岩体に高さ1.1 mの円柱コンクリート製の固定点土台を建設し、そこにアンテナを設置して、観測を行った(Fig. 2)。観測にはAshtech社製の受信機GP-R1-Z12及び同社製アンテナGeodetic IIIを用い、30秒間隔でデータを記録した。また観測用電源として、日中は太陽光発電(ソーラーパネル)、夜間は発電機を主に使用し、バッテリーも併用した。

1996年から年1回~数回の観測を行っており、1回の観測は1~5日程度である(Table 1)。1999~2003年は、



Fig. 2. Jododaira station for GPS observation. Arrow indicates the concrete pillar and GPS antenna. The wall at the back of photo is Tateyama Laboratory, University of Toyama.

年 2 回, 夏季と秋季に観測を行った. 2004 年は計 5 回の観測を実施しているが, 内 4 回は別の研究目的で行った 5 秒サンプリングのデータである. 5 秒サンプリングの場合, 受信機に保存できるデータ容量の都合, 複数日に渡っての観測を行っておらず, 観測時間が 24 時間に満たない. 本論では, データの品質を統一するため, 観測時間が 24 時間に満たない 2004 年の 5 秒サンプリングのデータは使用しない. また, 2005 年以降は受信機・アンテナを TOPCON 社製の LEGACY-E 及び LegAnt を用いている. 本論では, 観測機器が同じである 2004 年以前のデータを使用した.

浄土平観測点の北西約 1.5 km には, GEONET 立山観測点 (0808) が設置されている. この観測点は 1998 年から夏季のみ連続観測を行い, 2005 年から通年の連続観測を行っている (2005 年より立山 A 観測点).

#### 4. 解析方法

浄土平観測点のデータ (JODO) に加え, 平野-山地間の変動傾向を比較するため, 能登半島基部から富山平野, 飛騨山脈を横切るように GEONET の観測点を選び (Fig. 1), 一緒に解析を行った. 解析に用いた GEONET の観測点は西より押水 (0577), 高岡 (0248), 富山 (0249), 大山 (0250), 立山 (0808), 大町 (0046) である (Fig. 1). また, International GNSS Service (IGS) の観測点 19 点も同時に解析した (Fig. 3).

解析ソフトウェアには, マサチューセッツ工科大学とスクリプス海洋研究所で開発された GAMIT10.2 と GLOBK を使用した. GAMIT にて 1 日ごとのデータを解析した後, GLOBK を用いて連続する複数日の解を結合し, 1

Table 1. Periods of the observations at Jododara station.

year	start			stop		
	month	day	time	month	day	time
1996	Jul.	6	7:39:00	Jul.	7	23:30:00
1997	Jul.	26	7:39:30	Jul.	28	23:07:30
1998	Oct.	30	0:56:00	Oct.	25	23:30:00
1999	Jun.	20	0:00:30	Jun.	29	23:30:00
1999	Aug.	4	3:50:00	Aug.	7	14:23:30
2000	Jul.	23	9:39:00	Jul.	27	12:43:00
2000	Oct.	17	2:33:30	Oct.	19	5:37:00
2001	Aug.	5	1:06:00	Aug.	7	23:59:30
2001	Oct.	2	2:25:00	Oct.	4	23:59:30
2002	Jul.	13	2:41:00	Jul.	14	21:12:30
2002	Sep.	19	2:25:00	Sep.	21	23:59:30
2003	Aug.	16	5:37:30	Aug.	18	23:30:00
2003	Oct.	4	2:09:00	Oct.	7	5:08:00
2004*	May	14	9:29:40	May	14	19:00:20
2004*	May	27	5:49:55	May	28	3:52:50
2004*	Jun.	24	5:19:05	Jun.	25	0:31:00
2004*	Jul.	22	7:19:05	Jul.	22	10:34:00
2004*	Jul.	23	4:07:05	Jul.	23	23:30:30
2004	Oct.	10	5:26:30	Oct.	13	1:47:30
2005*	Jul.	2	5:15:00	Jul.	4	22:35:30
2005*	Sep.	29	1:53:30	Sep.	30	1:07:30
2006*	Jul.	1	3:49:30	Jul.	2	4:06:30
2006*	Oct.	6	3:27:00	Oct.	9	1:30:30

\*Leaved out from analysis for normalized data quality.

回のキャンペーン観測ごとに座標値を決定した. 解析の際には IGS の最終暦を用いた. GAMIT および GLOBK による解析の際に, IGS 観測点 (Fig. 3) を既知とし, 拘束条件を強く設定し, 解析を行った.

また, 2003 年に GEONET の観測点でアンテナ交換が行われているが, その際の補正には, アンテナ交換日の前後 2 週間を別途解析し, その前後の座標値のギャップを補正值とし交換日以降の解から差し引いている (Table 2).

#### 5. 結果

##### 5.1 浄土平観測点の変動

1996 年から 2004 年までの間, 富山平野のほぼ中央に位置する GEONET 富山観測点に対し浄土平観測点は, 年間で西へ  $3.5 \pm 0.3$  mm, 南へ  $2.5 \pm 0.3$  mm 移動することから (Fig. 4), 変位速度は西南西へ  $4.3 \pm 0.4$  mm/yr である. 特に, 2001 年頃から水平方向の変動に加速傾向がみられる (Fig. 4). また, 上下方向については, 観測期間内に浄土平観測点が GEONET 富山観測点に対して  $3.8 \pm 0.7$  mm/yr で隆起したという結果が得られた (Fig. 4). なお, 2000 年から 2003 年にかけて, 7 月下旬~8 月中旬に行った 1 回目の観測と 9 月中旬~10 月中旬に行った 2 回目の観測の間に水平方向の解析結果に毎年同傾向

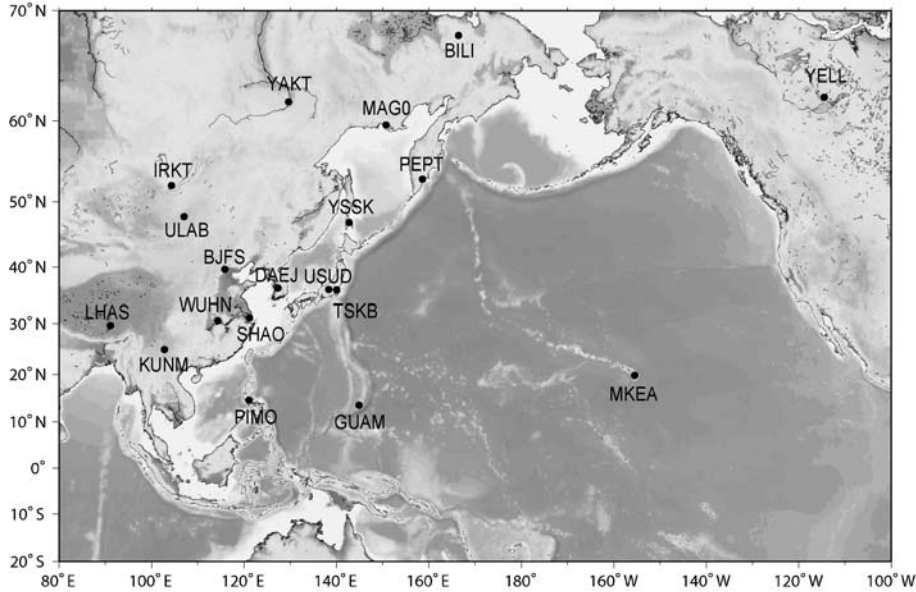


Fig. 3. Distribution of IGS stations for the present analysis.

Table 2. Offset of coordinates due to the antenna exchange of GEONET stations.

Site Name	Date	Offset (mm)		
		N	E	U
Ohmachi (0046)	2003/3/14	6.33±0.89	0.67±1.63	85.59±3.64
Takaoka (0248)	2003/1/17	2.31±0.83	7.93±1.45	-37.27±3.16
Toyama (0249)	2003/1/17	-1.85±0.83	6.47±1.46	-33.70±3.17
Ohyama (0250)	2003/3/8	4.08±0.96	1.98±1.56	-47.91±3.70
Oshimizu (0577)	2003/3/14	8.62±1.15	-0.99±1.48	-13.85±3.51

のずれが認められ、北に 0.5~1.3 cm、東に 0.2~0.5 cm ずれる (Fig. 4)。この傾向は、年周変動が影響している可能性がある。

また、GEONET 立山観測点 (0808) においても、浄土平観測点同様の水平変位、上下変位の傾向が認められる (Fig. 5)。GEONET 立山観測点における観測が開始した 1998 年から 2004 年までについて、GEONET 富山観測点を固定点とした場合の浄土平観測点と GEONET 立山観測点の変位速度は、南向き成分で浄土平観測点が  $2.5 \pm 0.3$  mm/yr、立山観測点が  $2.3 \pm 0.4$  mm/yr、西向き成分で浄土平観測点が  $5.8 \pm 0.5$  mm/yr、立山観測点が  $5.4 \pm 0.4$  mm/yr、隆起成分で浄土平観測点が  $6.5 \pm 1.3$  mm/yr、立山観測点で  $7.9 \pm 1.4$  mm/yr であり、両地点は調和的な変動を示す。

### 5.2 能登半島基部から松本盆地における地殻変動

解析に使用した各観測点における変位速度の各成分を能登半島基部から松本盆地までの間の断面に投影した (Fig. 6)。その結果、南北成分より東西成分の変化が顕著であり、本基線における短縮歪み速度の東西成分は  $1.1 \times 10^{-7}$  yr<sup>-1</sup> である。

また、上下方向の変位に関しては、すべての観測点が GEONET 富山観測点に対して隆起する結果が得られたが、顕著な地点は、飛騨山脈付近に位置する大山、立山、浄土平の各観測点である。一方、飛騨山脈の東にある GEONET 大町観測点 (0046) は、GEONET 富山観測点に対して有意な隆起傾向を示さない (Fig. 6)。

## 6. 考察

### 6.1 立山周辺における地殻変動とその意義

従来、飛騨山脈では GEONET 立山観測点において GPS 観測が行われているが、その他の観測点はなく、地殻変動の検出には不十分であった。また、水準路線は飛騨山脈南部を横切るが、飛騨山脈北部の立山周辺においては、水準路線などの測地的なデータは皆無であった。よって、立山連峰浄土平における本 GPS 観測は、立山周辺の地殻変動を検討する上で有意なデータである。

本研究による解析の結果、浄土平観測点と GEONET 立山観測点 (0808) とが調和的な変動を示し、1996 年から 2004 年までに GEONET 富山観測点に対して浄土平観測点が  $3.8 \pm 0.7$  mm/yr、1998 年から 2004 年までを見

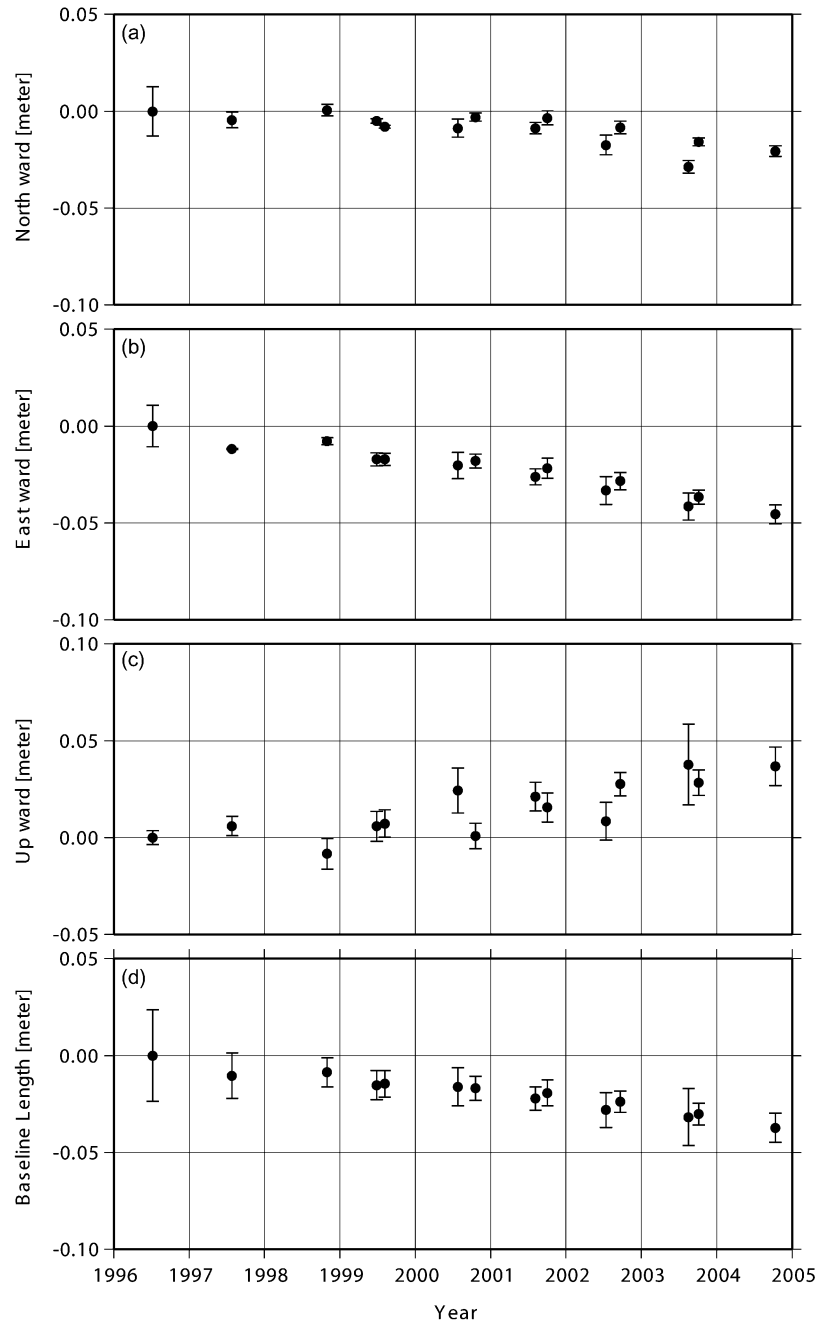


Fig. 4. Time series at Jododaira station. GEONET Toyama station is fixed. Horizontal and vertical components and baseline length are shown; (a) Northward, (b) Eastward, (c) Upward, and (d) Baseline length, respectively.

た場合は、浄土平観測点が  $6.5 \pm 1.3$  mm/yr、立山観測点で  $7.9 \pm 1.4$  mm/yr であり、顕著な隆起を示す。また、約 100 年間の水準測量結果（鷺谷・井上, 2003）は、松本盆地や高山盆地に対して飛騨山脈南部付近が隆起傾向を示す。これらのことから、飛騨山脈各所の隆起傾向は、山脈の広範囲にわたる可能性がある。

しかし、中部地方における GPS 上下変位の空間分布は、村上・小沢（2004）が示したように、東海地域で顕

著な隆起を示す一方、山岳域は沈降傾向にある。また、角野（2000）による飛騨山脈南部西穂高の栗尾観測点は、長野県松本市の信州大学理学部（信大観測点）に対して、上下座標値の誤差が大きいものの、顕著な隆起を示さない。このことから、各所で認められている上下変動は、ローカルな変動である可能性も否定できない。

## 6.2 2000-2001 年以降の急激な加速について

本研究の結果、2000 年と 2001 年の観測の間以降、浄

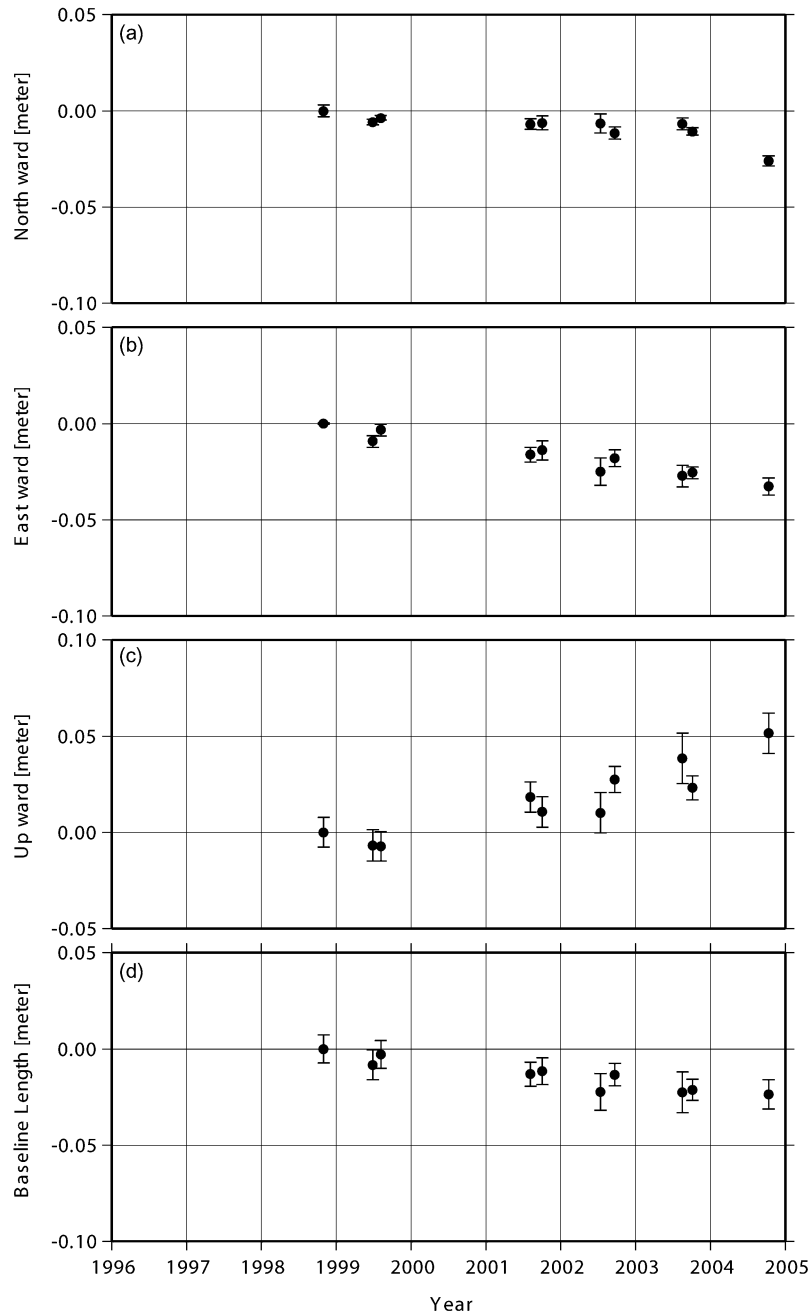


Fig. 5. Time series at GEONET Tateyama station. GEONET Toyama station is fixed. Horizontal and vertical components and baseline length are shown; (a) Northward, (b) Eastward, (c) Upward and (d) Baseline length, respectively.

土平観測点における南向きの変動の開始と西向きの変動の加速が認められた (Fig. 4)。同時期に発生したイベントとしては、2000年中頃より開始した、東海地域の沈み込み帯におけるスロースリップイベント (Ozawa *et al.*, 2002) が上げられる。本イベントでは、東海地域を含む広い範囲の GEONET 観測点において定常状態とは異なる変位の加速が認められている (Ozawa *et al.*, 2002)。

国土地理院 (2005) による GEONET 観測点の非定常的地殻変動のベクトルは、東海地域に比べ小さいながらも松本盆地周辺でも東海地方と同傾向の変位が認められる。しかしながら、加速の方向や大きさの点で、浄土平観測点における加速が東海地域のスロースリップのみで説明可能かどうかは疑問が残る。ここではあくまで水平変位の加速を説明する一つの可能性として止めておきた

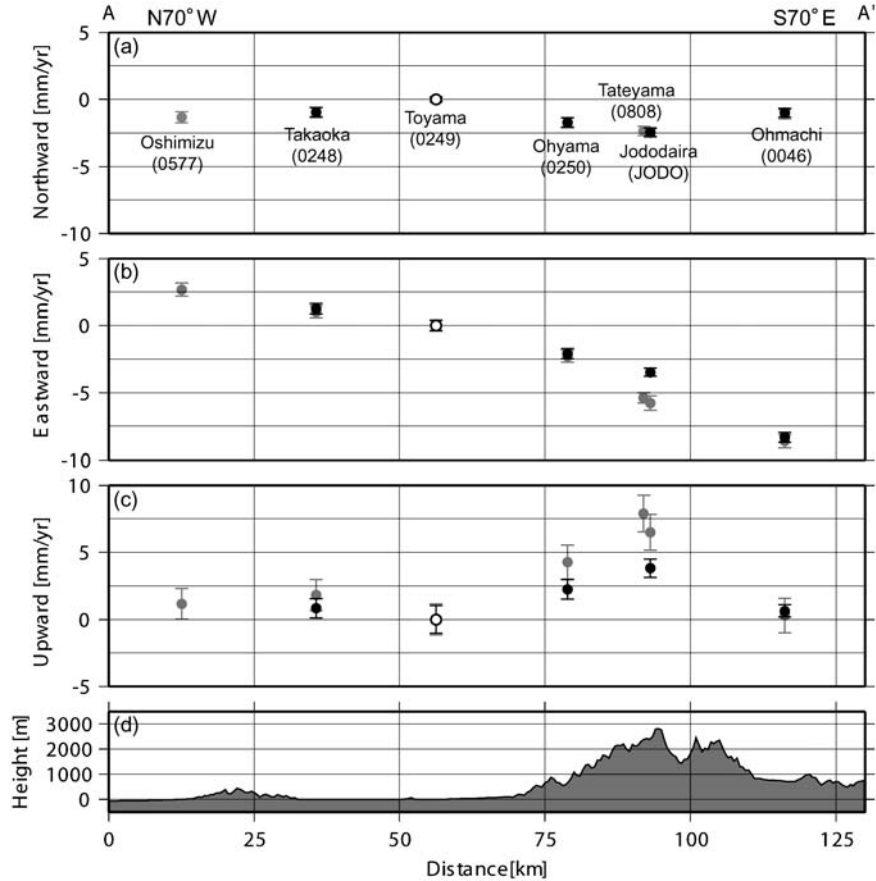


Fig. 6. GPS velocity profiles from the southern Noto Peninsula through Toyama plain and Hida mountains to Matsumoto Basin. (a) Northward. (b) Eastward. (c) Upward and (d) Height components, respectively. Solid circles indicate the velocities estimated for the period from 1996 to 2004. Gray circles indicate the velocities estimated for the period from 1998 to 2004, when the observation data for all stations are available. Open circles are the fixed site (GEONET Toyama station). Profile line is shown in Fig. 1 (A-A').

い。なお、東海地域のスロースリップは2005年には終息し、以降は進行期に比べ小さな滑りが存在するのみである(国土地理院, 2007)。従って、新たな観測データを付加することによりその検証は可能であると考えられる。

また、上下変位の加速も、一見すると水平変位に対応するように見えるが、1998年に発生した群発地震を契機に隆起に転じたと見ることも可能である(Fig. 4)。さらに1998年のデータを除けば、一貫して隆起を続けているとも見ることもできる。これは、水平方向に比べ上下方向の誤差および年周変動が大きいことに加え、データが連続的ではないため、今後観測を継続し、データを蓄積した後に慎重に議論する必要がある。

### 6.3 隆起の原因に関する一考察

地質学的には、飛騨山脈の隆起は鮮新世から第四紀初頭にかけて、同時期に火山活動が活発であったことから、地殻へのマグマの付加により隆起したとされている(例えば、町田ほか編, 2006)。その後の隆起に関して、

池田(1990)は削剝によるアイソスタティックな隆起のみがあったとしている。

山地の高度は侵食により徐々に低下していくが、飛騨山脈の様に厚い地殻の浮力により支えられている山脈は、侵食により荷重が取り除かれたことによるアイソスタティックな隆起があるため、山地の平均高度はなかなか低下しない(池田, 1990)。これについて、池田(1990)は以下の式を示している。

$$dh/dt = -dE/dt + (\rho_c/\rho_m)dE/dt \quad (1)$$

ここで、 $h$ は山地の平均高度、 $E$ は侵食量、 $t$ は時間、 $\rho_c$ 、 $\rho_m$ はそれぞれ地殻、マントルの密度である。また、(1)式の右辺第一項は削剝速度、第二項は侵食の結果生じるアイソスタティックな隆起速度である。このような隆起の過程を考慮すると、山地の平均高度は低下もしくは保持される状態であっても、削剝を免れた箇所は(1)式の右辺第二項に相当する速度の隆起を示すと考えられる。現

在の飛騨山脈中軸部における削剥速度はダムの堆砂速度より求められており、その値は3~5 mm/yrである(藤原ほか, 1999)。この削剥速度の値から、 $\rho_c$ を2.72~2.92 g/cm<sup>3</sup>、 $\rho_m$ を3.32 g/cm<sup>3</sup> (Dziewonski *et al.*, 1975)として、(1)式の右辺第二項、すなわち隆起速度は、2.5~4.4 mm/yrと見積もられる。この値は、浄土平観測点で得られた隆起速度3.8±0.6 mm/yrとオーダーとしてよく一致する。このことは、削剥と隆起の関係を考える上で重要である。ただし、アイソスタティックな隆起を考えた場合、その影響は広範囲に渡ると考えられ、山脈全体をカバーするような観測網の展開が望まれる。

また、GPSの約10年および水準測量の約100年というデータは、地質学が扱うタイムスケールに比べ短く、長期的傾向から外れた短周期の変動を見ている可能性もある。例えば、若い火山や流体の地下での挙動等がGPS座標値の変動に影響を与えている可能性も否定できない。また、第四紀後半の飛騨山脈の隆起について、水平圧縮によるテクトニックな隆起があったとする見解(原山, 1999など)があり、これらのメカニズムについても定量的な検討を行う必要がある。

## 7. まとめと今後の課題

富山大学理学部が1996年より行っている北アルプス浄土平におけるGPSキャンペーン観測結果から以下のことが、明らかとなった。

- 1) 浄土平観測点は1996~2004年の間、GEONET富山観測点に対し、西南西方向に4.3±0.4 mm/yr、また上下方向には3.8±0.6 mm/yrで隆起する変動を示した。この変動の傾向はGEONET立山観測点における変動と調和的であり、両データが立山一帯の変動を代表しうる、信頼に足るデータであることを示す。
- 2) 2000-2001年頃から水平方向の変動に加速が認められ、同時期に発生している東海スロースリップイベントの影響が一因として考えられるが、議論するに足るデータは得られていない。
- 3) 浄土平における上下変位は、飛騨山脈中軸部の削剥速度から想定されるにアイソスタティックな隆起とオーダーとして良く一致する。ただし、観測期間が短いことに加え、飛騨山脈隆起のメカニズムに関しては複数提案されているため、今後、他の地球物理学的観測や地形・地質学的なデータを加えた、慎重な議論が必要である。

山岳域特有の地殻変動、特に隆起・沈降の過程および原因を理解する上では、浄土平における観測データの蓄積は重要であり、今後も継続する必要がある。さらに、近年山岳域に新たにGPS観測点が設置されており、こ

れらを併せて検討することによる、飛騨山脈全体の地殻変動の把握が望まれる。

## 謝 辞

GPSデータ解析の際には、マサチューセッツ工科大学およびスクリプス海洋研究所が開発したGAMITソフトウェアを用いて解析を行った。防災科学技術研究所の島田誠一氏には、GAMITソフトウェアによる解析方法に関してご指導頂いた。東京大学地震研究所の佃為成氏には、本論を投稿する機会を頂いた。富山大学の学生諸氏には、浄土平における観測の際にお手伝い頂いた。また、査読者である東京大学地震研究所の加藤照之氏には、原稿を改善する上で有益なご指摘を賜った。解析の際には、国土地理院のGEONET観測データ、International GNSS Serviceの観測データと精密暦を使用した。また、本論文中における図の多くはGMT (Wessel and Smith, 1998)を用いて作成した。ここに記して感謝します。

## 文 献

- Dziewonski, A.M., Hales, A.L. and Lapwood, E.R., 1975, Parametrically Simple Earth Model Consistent with Geophysical Data. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **10**, 12-48.
- 藤原 治・三箇智二・大森博雄, 1999, 日本列島における侵食速度の分布, サイクル機構技報, **5**, 85-93.
- 原山 智, 1999, 飛騨山脈の多段階隆起とテクトニクスの変遷, 地球, **21**, 603-607.
- 池田安隆, 1990, 侵食と隆起—山脈形成論の観測的基礎—, 地震, **43**, 137-152.
- 岩岡圭美・伊藤 潔・川崎一朗・和田博夫・大見士朗, 2000, 1998年飛騨群発地震の発震機構と破壊面, 京都大学防災研究所共同研究12G-5「飛騨山脈における応力場と内陸大地震に関する研究」, 50-69.
- 垣見俊弘・松田時彦・相田 勇・衣笠善博, 2003, 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震, **55**, 389-406.
- 活断層研究会, 1991, 「新編日本の活断層」, 東京大学出版会, 437頁.
- 国土地理院, 2005, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **73**, 166-227.
- 国土地理院, 2007, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **78**, 247-303.
- 町田 洋・松田時彦・海津正倫・小泉武栄編, 2006, 「日本の地形5中部」, 東京大学出版会, 392頁.
- 村上 亮・小沢慎三郎, 2004, GPS連続観測による日本列島上下地殻変動とその意義, 地震, **57**, 209-231.
- Ozawa, S., Murakami, M., Kaidzu, M., Tada, T., Sagiya, T., Hatanaka, Y., Yurai, H. and Nishimura, T., 2002, Detection and Monitoring of Ongoing Aseismic Slip in the Tokai Region, Central Japan, *Science*, **298**, 1009-1012.
- 鷲谷 威・井上政明, 2003, 測地測量データで見る中部日本の地殻変動, 地球, **25**, 918-928.
- Sagiya, T., Miyazaki, S. and Tada, T. 2000, Continuous GPS Array and Present-day Crustal Deformation of Japan, *Pure Appl. Geophys.*, **157**, 2303-2322.
- 角野由夫, 2000, 飛騨山脈のGPS地殻変動観測, 京都大学防災



GPS 観測データから見た北アルプス立山における最近の地殻変動

研究所共同研究 12G-5 「飛騨山脈における応力場と内陸大地震に関する研究」, 18-27.  
角野由夫・小林和典・池田直人・近藤奈津子・川合俊二・藤巻ひろみ・細川盛樹・伊藤彰浩・嶋田庸嗣・和田博夫・伊藤潔, 1997, 焼岳の GPS 地殻変動観測 (1992-1996), 地球科学, **51**, 292-299.  
和田博夫・伊藤 潔・大見士朗, 2000, 1998 年飛騨山脈群発地

震, 京都大学防災研究所共同研究 12G-5 「飛騨山脈における応力場と内陸大地震に関する研究」, 36-49.  
Wessel, P. and Smith, W.H.F., 1998, New, improved version of the Generic Mapping Tools Released, *EOS Trans. AGU*, **79**, 579.

(Received December 14, 2007)

(Accepted September 24, 2008)