

### 3. 1. 1. 2 首都圏南西部での地震発生過程の解明

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

- ・首都圏南西部での MeSO-net を維持し、観測データを蓄積する。特に、フィリピン海プレートの沈み込み口である相模湾から、本州との衝突帯である丹沢にかけてのプレート構造と地震活動の解明を目的として、定常的な地震活動に加え、周辺で発生した中小規模の地震や低周波地震などの発震機構解の推定、詳細な震源分布などについての解析を行う。

##### (b) 平成 28 年度業務目的

- 1) 首都圏地震観測網 (MeSO-net) のうち、神奈川県内に整備された 10 点について、設備を維持・管理し、引き続き自然地震観測を行う。必要に応じて、老朽化した一部設備の補修や移設を行う。
- 2) 国立大学法人東京大学地震研究所より送信される MeSO-net のデータと、神奈川県温泉地学研究所および神奈川県温泉地学研究所で監視している他機関の地震データの統合処理を行い、震源及びメカニズム解の決定を行う。
- 3) 首都圏南西部で発生するさまざまなタイプの地震について総括し、地殻変動の解析などから推定された伊豆衝突帯のテクトニクスと比較しつつ、この地域での地震発生のメカニズムについての知見を得る。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
神奈川県 温泉地学研究所	所長	里村幹夫	satomura@onken.odawara.kanagawa.jp
	火山対策調整官	本間直樹	honma@onken.odawawa.kanagawa.jp
	主任研究員	本多 亮	ryou@onken.odawawa.kanagawa.jp
	主任研究員	原田昌武	harada@onken.odawawa.kanagawa.jp
	主任研究員	行竹洋平	yukutake@onken.odawawa.kanagawa.jp
	技師	道家涼介	r-doke@onken.odawara.kanagawa.jp
	技師	安部祐希	abeyuki@onken.odawara.kanagawa.jp

#### (2) 平成 28 年度の成果

##### (a) 業務の要約

- 1) 首都圏地震観測網 (MeSO-net) のうち、神奈川県内に整備された 10 点について、設備を維持・管理し、引き続き自然地震観測を行った。必要に応じて、老朽化した一部設備の補修や移設を行った。
- 2) 国立大学法人東京大学地震研究所より送信される MeSO-net のデータと、神奈川県温泉地学研究所および神奈川県温泉地学研究所で監視している他機関の地震データの統合処理を行い、震源及びメカニズム解の決定を行った。
- 3) 首都圏南西部で発生するさまざまなタイプの地震について総括し、地殻変動の解析

などから推定された伊豆衝突帯のテクトニクスと比較しつつ、この地域での地震発生のメカニズムについての知見を得た。

## (b) 業務の成果

### 1) 観測点の管理

表 1 に示される MeSO-net の 10 観測点について、設備の維持・管理を行った。今年度は大きな故障などはみられず安定してデータが地震研究所および温泉地学研究所に送信された。

### 2) データの統合

東大より送信されている MeSO-net データは、温泉地学研究所および温泉地学研究所で監視している他機関の地震データと統合処理され、震源決定に使用されている。通常発生する微小地震については、この処理によって初動押し引きによるメカニズム解のチェックを行った。

表 1 平成 22 年度までに設置した観測点 (10 箇所)

	所在地	学校名	住 所
1	川崎市	有馬小学校	神奈川県川崎市宮前区東有馬 5-12-1
2	横浜市	北方小学校	神奈川県横浜市中区諏訪町 29
3	横浜市	奈良小学校	神奈川県横浜市青葉区奈良町 1541-2
4	座間市	栗原小学校	神奈川県座間市栗原 6-8-1
5	相模原市	根小屋小学校	神奈川県相模原市緑区根小屋 1580
6	相模原市	青根中学校	神奈川県相模原市緑区青根 1926
7	相模原市	青野原小学校	神奈川県相模原市緑区青野原 1250-1
8	相模原市	二本松小学校	神奈川県相模原市緑区二本松 2-9-1
9	相模原市	津久井中央小学校	神奈川県相模原市緑区三ヶ木 39-7
10	横浜市	平戸小学校	神奈川県横浜市戸塚区平戸町 542

### 3) データの解析

ここでは、これまで温泉地学研究所が行ってきた地震および地殻変動に関する解析結果から、首都圏南西部における地震の発生メカニズムについて総括する。

図 1 (P.30) に、GNSS の解析から得られた伊豆衝突帯における地殻変動から推定した

最大せん断歪および面積歪の分布を示す。また図 2 (P.30) にブロックモデルを用いた地殻変動の推定結果を示す。使用したデータは 2005 年から 2010 年の 6 年間に於いて GNSS を用いて得られた地殻変動から火山活動やアンテナ交換などの影響を取り除いたもので、定常的な地殻変動を推定したものである<sup>1)</sup>。これらの図からは北伊豆断層付近を西端とする幅 20 km ほどの shear zone が形成されていることがわかる。また、首都圏南西部（神奈川県西部地域）は基本的には圧縮場であるが、伊豆半島の川奈崎から真鶴半島付近にかけて、北東-南西方向の引張場となっている。このような運動による歪の蓄積過程を調べるために、先行研究<sup>2)</sup>を参考とした暫定的なブロックモデルを用いてすべり欠損を計算した。図 2 (P.30) に、フィリピン海プレートを西相模湾断裂 (WSBF) と北伊豆断層 (KIFZ) によって、IZUP、IZUE および PHSP の 3 つに分割する基本モデルのブロック境界と断層位置を示す。まず、基本モデルを用いてすべり欠損を計算すると、相模トラフと西相模湾断裂に 15~20 mm/yr の大きなすべり欠損が推定された。次に、基本モデルから西相模湾断裂および北伊豆断層をそれぞれ除いた場合についても計算を行った。その結果、西相模湾断裂を除いたモデルと基本モデルでは、前者の方がやや残差が大きいもののほぼ地殻変動ベクトルは再現できるのに対し、北伊豆断層を除くと足柄平野でのベクトルが全く再現できない結果となった。これは、足柄平野北部の北東向きのベクトルと沼津・三島付近の変動量の小さい南向きのベクトルが同じブロック内の変形では説明できないためと考えられる。

一方、震源メカニズムから伊豆衝突帯の応力場を推定すると、全体的に北西-南東方向に  $\sigma_1$  軸をもつ圧縮場であることがわかる (図 3、P.30)。箱根 (Region 4) を除いた地域では  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  は水平面内にあり、基本的には逆断層型のメカニズムが卓越する。応力テンソルインバージョンによって推定された  $\sigma_1$  軸は、地殻変動から得られた圧縮軸の方向とほぼ一致しており、この付近の応力場はフィリピン海プレートが本州弧に対して沈み込みあるいは衝突することに起因すると考えられる。箱根地域 (Region 4) では  $\sigma_3$  軸が水平になり横ずれタイプが発生する場となるが、箱根直下のマグマだまりの活動やクラックの開口等による応力変化の影響が考えられる。

真鶴付近 (Region 8) の応力テンソルインバージョンの結果からは、応力比  $R=(\sigma_1-\sigma_2)/(\sigma_1-\sigma_3)$  がほかの領域よりも小さい範囲にまで広く分布することがわかる。これは、解析に用いることができた地震数が少なく、誤差範囲が広いことを示している。一方、地殻変動からはこの領域よりやや南側の川奈崎付近で北東-南西方向に引張軸をもつ引張場となっており、実際、伊豆東方沖の地震活動の際には北東-南西方向に開く開口クラックモデル<sup>4)</sup>が提唱されている。このようなことから、川奈崎付近が北東-南西方向に拡大することによって、真鶴付近を含む領域を北東-南西方向に圧縮するような応力場が発生し、Region 8 の解析結果のように応力場がやや等方的 ( $\sigma_1 \sim \sigma_2$ ) になっている可能性もある。

地震波速度構造<sup>5)</sup> (図 4、P.31) と震源分布を比較してみると、震源は丹沢地域では深さ約 20km、小田原付近でも深さ 10km 程度であり、P 波速度 ( $V_p$ ) が 6.5km/s 程度の領域で発生している。この P 波速度は、伊豆の中部地殻もしくは下部地殻の速度に相当する。前述のように、発生する地震のメカニズムは関東地震のメカニズムに近いスラスト型であり、これらの地震が発生する領域が、プレート運動を解消するプレート境界となっていると考えられる。また、伊豆半島東部から丹沢までの地震活動度を比較してみると (図 5、

P.31)、丹沢の東側ブロックと伊豆半島東部の地震活動には時間的な相関があるように見える。このことは、kagan 角を用いて大正関東地震のメカニズムからのずれを推定した結果<sup>3)</sup>とも整合的である。彼らは丹沢における地震の震源メカニズムは、東側のブロックでは比較的大正関東地震に近く、西側ではメカニズムのばらつきがあることから、東側はフィリピン海プレートプレートが比較的スムーズに沈み込んでいるのに対し、西側では衝突によって複雑な構造をもっており、メカニズムにばらつきがあると解釈している。

首都圏南西部においては、足柄平野付近を震源とする M7 クラスの地震が繰り返し発生しており、小田原地震と呼ばれるこれらの地震の震源モデルとして、西相模湾断裂モデル<sup>6)</sup>が提案されている。このモデルでは、フィリピン海プレートを二つの領域（伊豆半島を乗せる浮揚性地殻と、相模トラフから北北西に沈み込む非火山性のスラブ）に分ける境界が存在するとし、その境界を「西相模湾断裂」と呼称する。この断裂の位置は、真鶴半島の沖合から初島の東側を通して伊東沖付近まで続く、海底の急峻な崖地形に対応する。このような直下型地震の震源像を表すためのモデルは他にもいくつか考えられているものの、実態はいまだ不明な点も多い。これまで示してきたような地殻変動、地震活動および震源メカニズムなどの連続性からは、現在の地震の発生メカニズムを説明するうえでは、西相模湾断裂のように伊豆半島東方沖の境界よりも、むしろ北伊豆断層から北に延びる力学的な境界の存在の方が尤もらしいと考えられる。また、地震波速度構造でも、伊豆半島東方沖から真鶴付近には構造のずれは認められない。小田原地震の震源域あるいは断層がどこであるかについては、我々の研究から断定はできない。しかし、丹沢付近に断層面を仮定しても、各地の揺れやすさを補正すれば当時の被害を説明できるという報告もあることから<sup>7)</sup>、伊豆半島東部から丹沢にかけてのプレート境界において発生した地震である可能性もある。

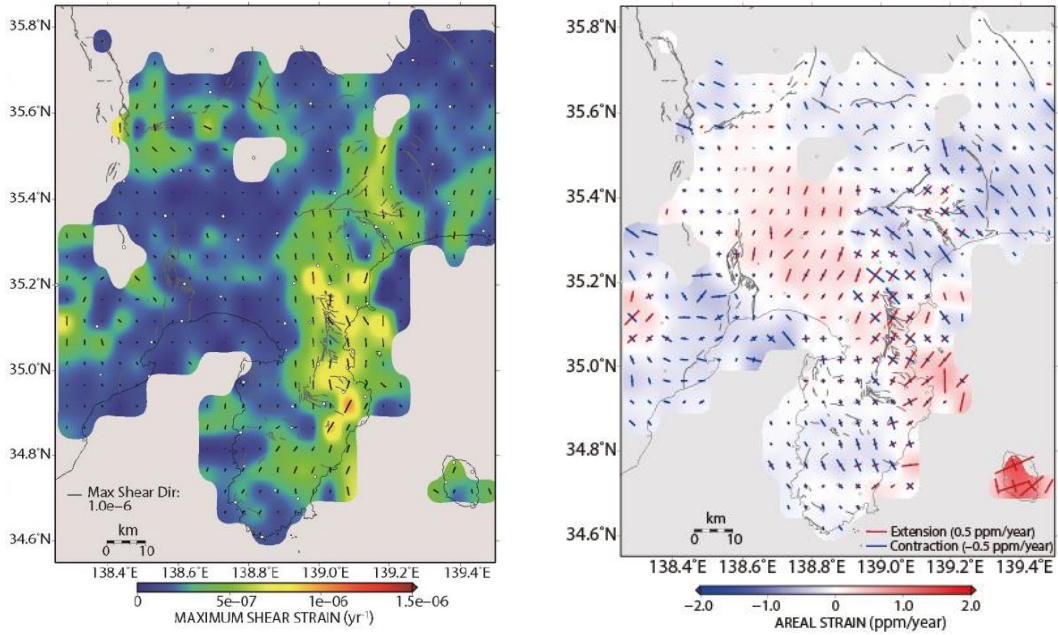


図 1 : (左) GNSS データから推定した最大せん断歪と (右) 面積歪

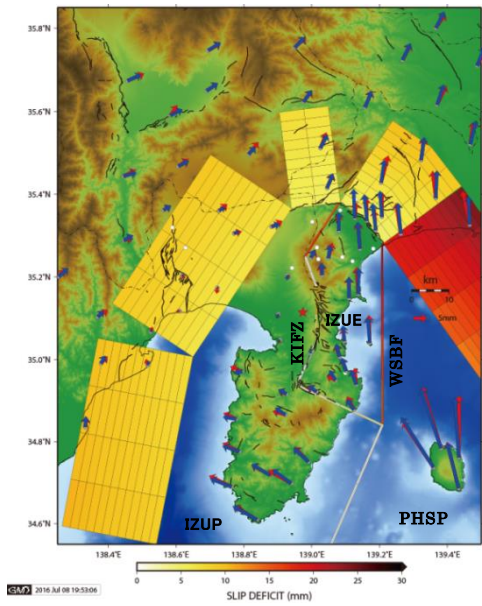


図 2 : ブロックモデルを仮定した場合のすべり欠損分布。相模トラフや西相模湾断裂付近に大きなすべり欠損が推定されているが、このような高角な断層面をもつような地震活動は観測されていない。

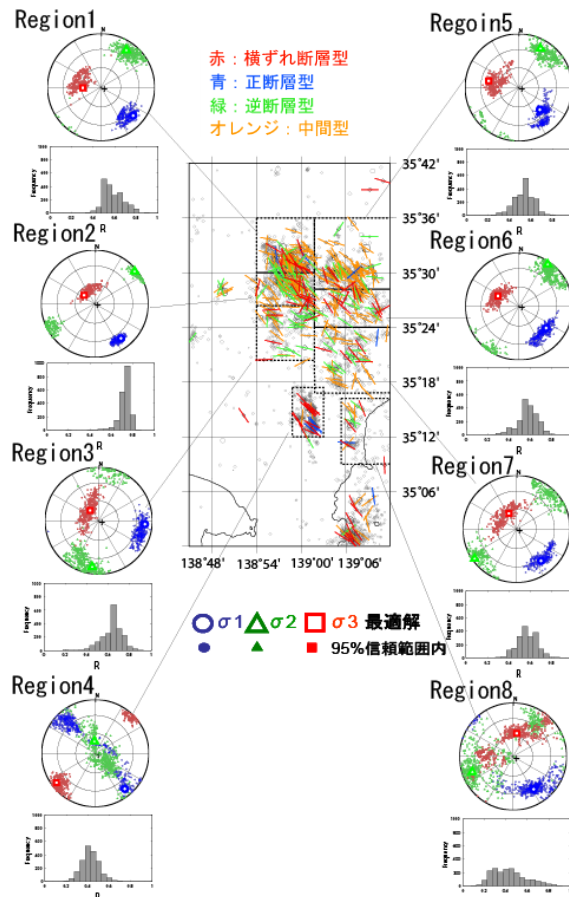


図 3 : 応力テンソルインバージョンによって推定した、伊豆衝突帯周辺の主応力軸の特徴。地図上のバーの方向と色は P 軸の方位とメカニズム解の種類を示す。

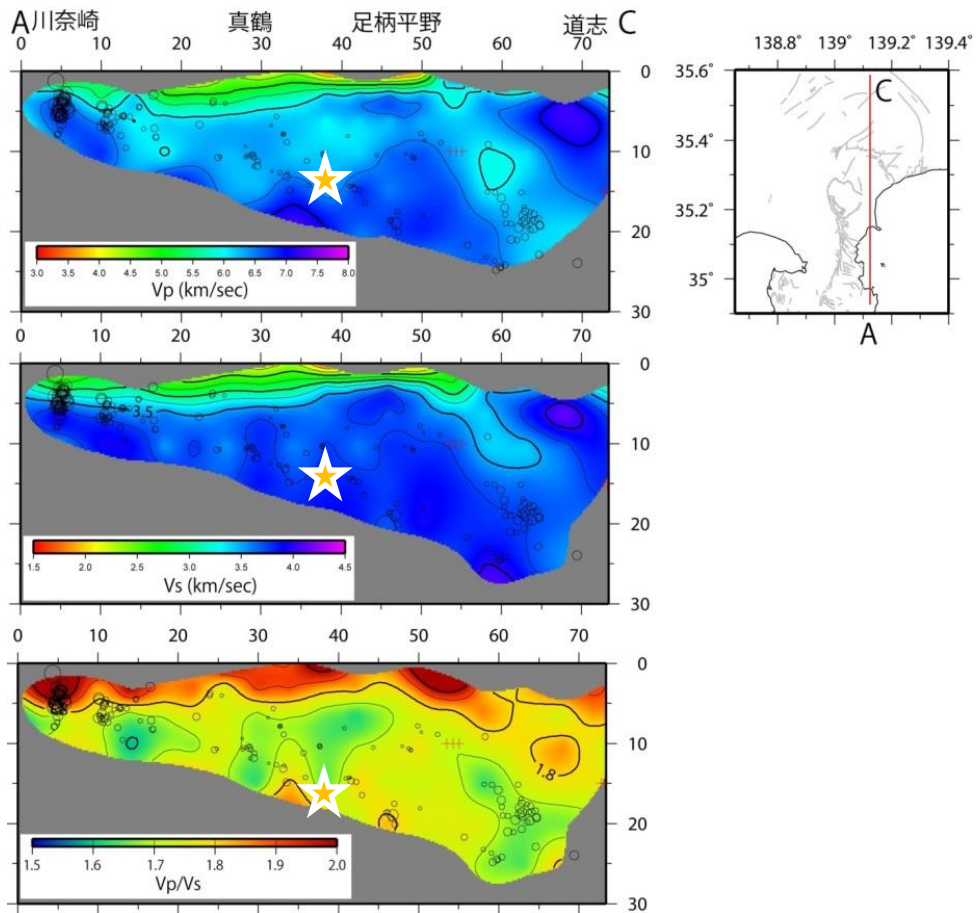


図4：丹沢地域から伊豆半島東部にかけての地震波速度構造の断面図。  
 ★印は2007年に発生したM4.9の地震の震源。この地震も北向きに傾斜する断面をもつスラストタイプの地震であった。

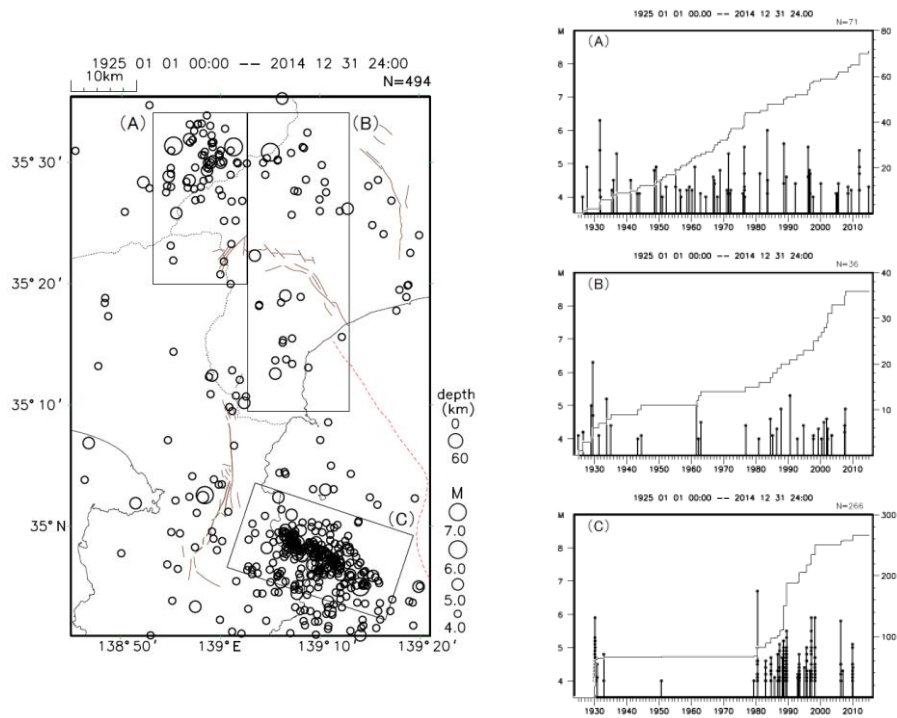


図 5：伊豆衝突帯周辺の地震活動（1925 年から 2014 年）。気象庁一元化震源による。右は地図上の A,B および C で示された領域の MT 図と地震数の積算図。

### (c) 結論ならびに今後の課題

これまで解析を行ってきた地殻変動、震源メカニズムおよび地震活動などを総括し、首都圏南西部における地震の発生メカニズムについて考察した。震源メカニズム解を用いた応力インバージョンの結果からは、首都圏南西部は全体的には北西南東方向の圧縮場であるが、箱根火山や GNSS の解析結果に見られる伊豆半島東部の引張場の影響によると考えられる応力比やメカニズムの乱れがあることが示された。北伊豆断層よりも東側で発生する地震は、基本的にはプレートの沈み込みに起因するプレート境界型の地震であり、プレート境界は伊豆半島東部から丹沢にかけて連続的な構造を有していると考えられる。西相模湾断裂に相当するような構造は地震波速度構造インバージョンの結果からは発見できなかったが、地殻変動の解析結果からはより西側の北伊豆断層付近から北に延びる領域に伊豆半島を東西に分割する境界が存在することが強く示唆された。これまでの成果から、首都圏南西部における地震の発生メカニズムについて一定の知見は得られた。しかし、フィリピン海プレートの衝突及び沈み込みの場である首都圏南西部の地殻構造や応力場は複雑であり、古地磁気や活断層の分布あるいは構造地質など、さまざまなパラメータについて検討を行う必要がある。この地域のテクトニクスモデル構築のためには、より広域かつ稠密な観測による、地殻変動や地震活動の詳細な検討が必要と考えられる。

### (d) 引用文献

- 1) Doke R., M. Harada, K. Miyaoka and M. Satomura, Shear deformation in the northeastern margin of the Izu collision zone, central Japan, inferred from GPS observations, *Tectonophysics*, under review.
- 2) Nishimura T., T. Sagiya and S. Stein, Ross, Crustal block kinematics and seismic potential of the northernmost Philippine Sea plate and Izu microplate, central Japan, inferred from GPS and leveling data, *J. Geophys. Res.*, 112 B05414, 2007.
- 3) Yukutake Y., T. Takeda, R. Honda and A. Yoshida, Seismotectonics in the Tanzawa Mountains area in the Izu-Honshu collision zone of central Japan, as revealed by precisely determined hypocenters and focal mechanisms, *Earth Planets Space*, 64, 269-277, 2012.
- 4) Tada, T. and M. Hashimoto, Anomalous crustal deformation in the northeastern Izu Peninsula and its tectonic significance - Tension crack model -, *J. Phys. Earth*, 39, 197-218, 1991.
- 5) Yukutake Y., R. Honda, M. Harada, R. Arai and M. Matsubara, A magma-hydrothermal system beneath Hakone volcano, central Japan, revealed by highly resolved velocity structures, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1002/2014JB011856, 2015.
- 6) Ishibashi K., Seismotectonic modeling of the repeating M 7-class disastrous Odawaraearthquake in the Izu collision zone, central Japan, *Earth Planets*



Space, 56, 843–858, 2004.

7) 植竹富一, 野口厚子, 中村操, 天明相模の地震及び嘉永小田原地震の被害分布と震源位置, 歴史地震, 25, 39- 62, 2010.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
干渉 SAR データから推定される箱根火山 2015 年噴火に伴う開口割れ目（ポスター）	道家涼介・原田昌武・本多亮・行竹洋平・萬年一剛・竹中潤	日本地球惑星科学連合 2016 年大会	5 月	国内
箱根火山で推定された異方性媒質のクラックサイズに関する検討（ポスター）	本多亮・行竹洋平・酒井慎一・森田裕一	日本地球惑星科学連合 2016 年大会	5 月	国内
位相差スペクトルを用いて推定した異方性構造の特徴について（ポスター）	本多亮・行竹洋平・酒井慎一・森田裕一	日本地震学会 秋季大会	10 月	国内
Shear deformation in the northeastern margin of the Izu collision zone, central Japan, inferred from GPS observations（ポスター）	Doke R., M. Harada, K. Miyaoka, M. Satomura.	American Geophysical Union	12 月	国際
箱根火山活動時の GNSS 地殻変動とその圧力源モデルの推定（ポスター）	原田昌武・道家涼介・板寺一洋・里村幹夫	日本地震学会 秋季大会	10 月	国内
温度検層データから推定される箱根火山の地温勾配（ポスター）	原田昌武・板寺一洋・萬年一剛・道家涼介	日本火山学会 秋季大会	10 月	国内
ALOS-2/PALSAR-2 データによる箱根火山 2015 年水蒸気噴火に伴う地殻変動（ポスター）	道家涼介・原田昌武・本多亮・行竹洋平・萬年一剛・竹中潤	日本地震学会 秋季大会	10 月	国内
干渉 SAR 解析による箱	道家涼介・原田	日本火山学会 秋季	10 月	国内

根火山 2015 年噴火以後 の地表面変位（口頭）	昌武・本多 亮・ 行竹洋平・萬年 一剛・竹中 潤	大会		
------------------------------	--------------------------------	----	--	--

学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし