

科学研究費補助金研究成果報告書

平成23年5月20日現在

機関番号:12501
研究種目:基盤研究(S)
研究期間:2008~2010
課題番号:20224016
研究課題名(和文) 長大測線統合的地震探査による中部日本地殻構造とアクティブテクトニクス
の解明
研究課題名(英文) Research on active tectonics in central Japan based on integrated seismic experiments with long shot- and receiver- offsets
伊藤 谷生 (ITO TANIO)
千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号:50111448

研究成果の概要(和文): 日本列島において活断層が最も密集している中部日本のアクティブ・テクトニクスを規定しているものが列島形成過程を反映した複雑な地殻構造に加えてフィリピン海プレートの形状と運動であることは、従来の地質学的研究によって予測されていた。本研究では、中部日本南東部と北西部において長大測線統合的地震探査を実施し、フィリピン海プレートから活断層の発達する上部地殻までの構造を具体的にイメージングすることに成功した。このことによって地質学的予測を確実なものにすると共に、今後の更なる研究の基礎が築かれたといえる。

研究成果の概要(英文): Previous geological researches have suggested that the active tectonics of Central Japan has been controlled by the motion and configuration of the Philippine Sea Plate, and also by the complicate crustal structure formed during the growth of Japanese Island Arc. This study has successfully obtained the seismic profiles from the upper surface of the Philippine Sea Plate up to the active surface faults at both the southeast and the northwest borders of Central Japan based on the integrated seismic experiments with long shot- and receiver- offsets. We believe the profiles provide essential data effective to further researches.

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	71,800,000	21,540,000	93,340,000
2009年度	69,000,000	20,700,000	89,700,000
2010年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
総計	147,600,000	44,280,000	191,880,000

研究代表者の専門分野: 構造地質学

科研費の分科・細目: 地球惑星科学・地質学

キーワード: 中部日本、テクトニクス、地殻構造、活断層、地震探査

1. 研究開始当初の背景

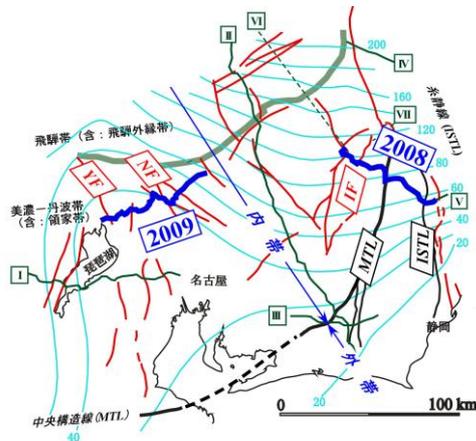
日本列島において最も活断層が密集している中部日本とその東縁を限る糸静線 ISTL に関する最近の地震探査の急速な進捗とデータの蓄積は、同地域のアクティブ・テクトニクスがフィリピン海プレート (PHS) の形状と運動、そして地殻内の地質構造に強く支配されていることを示唆している (例えば狩野, 2002)。しかしながら山岳地域である中部日本縁辺を規定する南・中央アルプスや北米濃地域においては本格的な地震探査による深部構造探査は行われていなかった。

2. 研究の目的

本研究は、この間の各種地震探査の実践を集約統合した“長大測線統合的地震探査”を実行して、速度不均一性の地質学的意味への考察を加えつつ、中部日本の地殻構造と PHS 上面形状との関係を解明するための基礎データを提供する。そして、そのことを通じてアクティブ・テクトニクス解明の一步を踏み出そうとするものである。

3. 研究の方法

第1年度の2008年度には南アルプス東方



から糸魚川静岡構造線 ISTL、南アルプス、中央構造線 MTL を越え、伊那谷断層帯 IF を横切り、中央アルプスを経て木曾谷に至る 90 km で統合的地震探査を実施した (『2008 南-中央アルプス』。図1の青太線 2008)。地震計は平均 50m 間隔で展開し、発振はダイナマイト 4 地点、バイブレータ 8 地点で行われた。

図1: 長大測線統合的地震探査の2測線。I~VI: 既実施の測線、ISTL: 糸魚川静岡構造線、MTL: 中央構造線、IF: 伊那谷断層帯、NF: 根尾谷断層、YF: 柳ヶ瀬断層。淡青線: フィリピン海プレート上面深度(km) (Nakajima and Hasegawa, 2007)

第2年度の2009年度には琵琶湖北方から柳ヶ瀬断層、根尾谷断層を横切り、郡上市西方まで山岳地域を通過する 70km の測線で実施された (『2009 北米濃』と略称。図1の青太線 2009)。地震計は平均 50m 間隔で展開し、発振はダイナマイト 8 地点、バイブレータ 2 地点で行われた。この探査は、測線中央部の根尾谷断層周辺を防災科学技術研究所との、西端の柳ヶ瀬断層西方を京都大学防災研究所との共同研究によっている。

2つの地震探査は疎発振稠密発振使用となっているため、低重合処理とならざるを得ない。このため得られたプロファイルは地質学的解釈を行うには品質上不十分であった。そこで第3年度の2010年度には新たに以下の作業を行い、地質学的議論を可能とするプロファイルを得ることができた。

1) 『2008 南-中央アルプス』データに対する新たな高度化処理。具体的には CRS (Common Reflection Surface) 法を拡張した MDRS (Multi-Dip Reflection Surface) 法 (Aoki et al., 2010)、『Fresnel-volume』マイグレーション、地震波干渉法解析、屈折トモグラフィー解析、波線追跡法、『Full-wave』トモグラフィーなど]

2) 北陸、近畿、中国地方における既存の地震探査データを反射法的再処理と『2009 北米濃』への接合。

4. 研究成果

(1) 外帯地下構造のイメージング

『2008 南-中央アルプス』データを通常の低重合反射法処理によって得られたプロファイルのうち外帯部分は2つの特徴的な領域によって構成される。深部領域においては極めて鮮明な西傾斜イベント群が卓越する一方、浅部領域においては異なる傾斜方向のイベント群が交差するなどの複雑なイメージを示す。深部領域の上限は西傾斜の強い反射面群に対応し、その地表延長は糸魚川静岡構造線活断層系 (A-ISTL) と一致する。そこでまず複雑なイメージを示す浅部領域に対して、傾斜方向が変化するような複雑な構造解析に効果的な MDRS 法を適用し、MDRS プロファイルを作成した。次にプロファイル上のイメージの中から偽像を除去するために、低センス値域のイベント群を削除した。その結果をまとめて MDRS プロファイルに解釈を与えたものが図2である。これによれば外帯の構造的特徴は次の3点にまとめられる。

1) 外帯は、秩父帯 (Ch) を軸部とし、軸面

が東傾斜のタイトな向斜構造をなす。この向斜構造の下部は A-ISTL に繋がる西傾斜の強反射面群（深部領域の上限）によって切断されている。ISTL の下部は A-ISTL によって切断されている。しかしながら MTL 下部と A-ISTL 下方延長との関係は不明である。

2) 三波川変成岩類 (SM) は、西南日本外帯の他地域では緩やかな背斜構造を示すのが一般的であるが、ここでは西翼が欠如し、東傾斜の同斜構造をなす。

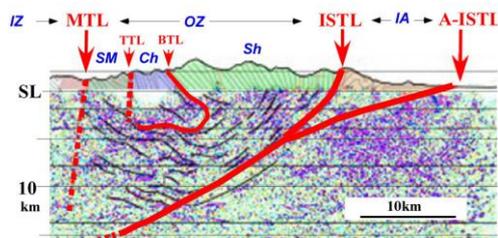


図 2：外帯浅部領域を対象とした MDRS プロファイルの解釈。IZ：内帯、OZ：外帯、IA：伊豆弧物質、SM：三波川帯（みかぶ緑色岩類を含む）、Ch：秩父帯、Sh：四万十帯、A-ISTL：糸魚川静岡構造線前縁活断層系、BTL：仏像構造線、TTL：戸台構造線。他の略称は図 1 に同じ。

(2) 外帯構造イメージング結果の合理性とそれが意味するもの

図 2 に示された解釈が地質学的に合理的かつ適正であることは、次の 2 つによってなされた。

- 1) 三波川変成岩類から四万十帯まで東傾斜が続くという地表調査結果と整合的である。
- 2) 図 2 の構造は、西南日本外帯のうち伊豆弧衝突に伴う日本列島屈曲の影響を受けていないと思われる四国ならび紀伊半島の外帯地下構造を初期条件に合理的の屈曲過程を経て実現し得ることが数値実験 (Yamakita et al., 2010) によって確認される。具体的には、光明断層など赤石構造帯の左横ずれ運動 + 北方に向かって増大する不均質単純剪断運動、である。

これらの結果と (1) 2) を考慮すると、現 MTL は初源的なものではなく、日本列島屈曲に大きな役割を果たした赤石構造帯 (ATL) の延長と解される。

(3) 伊那谷断層帯の垂直変位成分

『2008 南-中央アルプス』探査のうち伊那盆地を横断する測線では、伊那谷断層帯の浅部構造を明らかにするために、稠密発受振によ

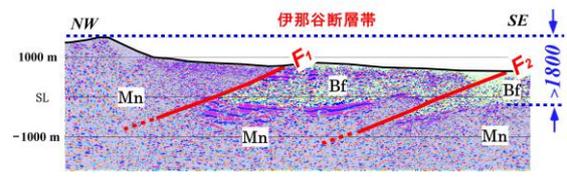


図 3：伊那谷断層帯浅部プロファイル。F1, F2：伊那谷断層帯構成断層。Mn：美濃帯、Bf：伊那谷盆地充填堆積物。

る通常の反射法地震探査が行われた。その結果は、図 3 にまとめられている。

伊那谷断層帯は中央アルプス山麓の主断層 F1 と前縁断層の F2 によって構成される。両者による美濃帯上面の総垂直変位成分は少なく見積もっても 1800m である。F2 近傍では垂直変位があるものの全体としては美濃帯上面に高度差は認められない。伊那谷を埋める地層の下面形状がまだ不明なので断定はできないが、F2 は水平なデタッチメントから派生した可能性も考慮しておく必要がある。

(4) 『2008 南-中央アルプス』統合プロフィール

(1) ~ (3) の考察を経て統合プロフィールを作成し、併せて測線周辺の微小地震活動を挿入したものが図 4 である。A-ISTL の地下延長 A は地質構造境界としての ISTL を地下で切断し、B に接続する。B は外帯の地下構造を切断するが、MTL (本質的には ATL) 下部構造ならびに内帯下部構造との関係は不明である。B に随伴する微小地震群 S1 (深度 10 ~ 10 数 km) は、B に逆断層運動を生じさせる発震機構を有する (文科省, 2010)。

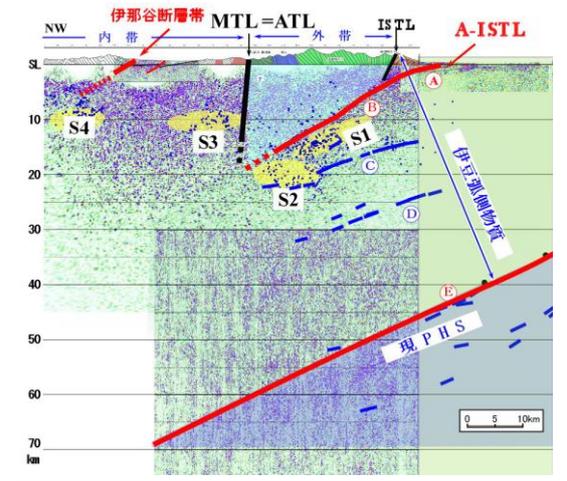


図 4：『2008 南-中央アルプス』統合プロフィールの解釈。詳細は本文参照。

Bは中期中新世における衝突開始時のPHS沈み込み帯上面であろう。従ってBから現PHS上面Eまでには中期中新世以来の伊豆弧側物質が40km余りの厚さで付加していると解釈される。B-E間には北西傾斜の強い反射面が認められるが、これらは後退する沈み込み帯の痕跡と判断される。

現MTLを挟んで微小地震群S2、S3が存在するが、それらの発震機構はMTLを左横ずれさせるタイプである。伊那谷断層帯の垂直変位成分は約2kmであり、下方延長に微小地震群S4（深度10km前後）を随伴する。

(5) 『2009 北米濃』が示す地殻中の反射波群

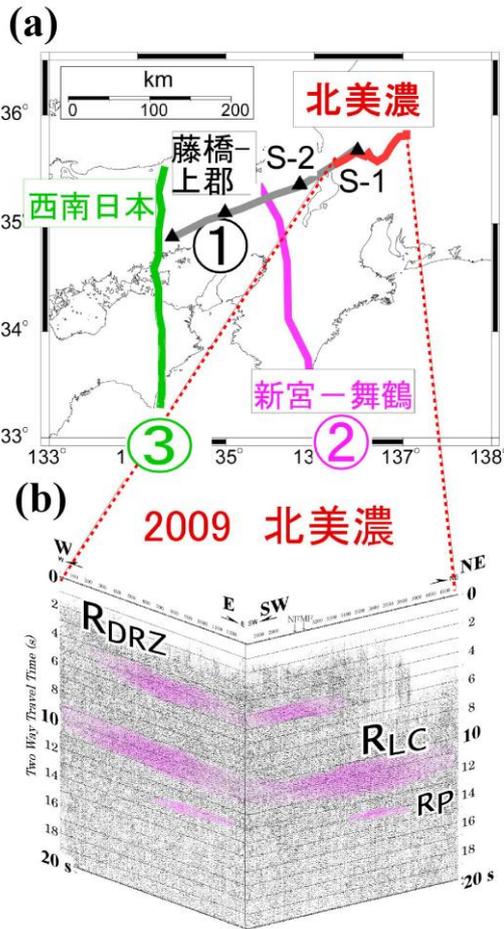


図5
(a) 『2009 北米濃』測線位置図ならびに周辺の既存地震探査測線。
(b) 『2009 北米濃』プロフィール（時間断面）に認められる反射波群。RDRZ、RLC、RP：本文参照。

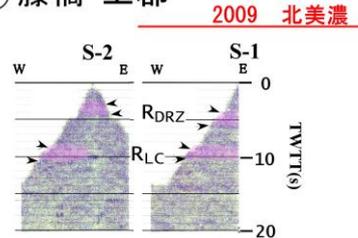
測線（図5(a)の赤太線）のほぼ全体で図5(b)に示されているように地殻浅部および地殻深部に反射波群が確認される。前者は往復走時(TWT)5秒付近(深度約15km)のRDRZ、

後者はTWT10秒付近を中心とした厚い反射波群(深度約25~36km)のRLCである。これらは緩く北東方向に傾斜している。さらに側方への連続性が明瞭ではないが、TWT13~14秒付近に見られた微弱な反射面(深度約40~45km)RPも緩く北東方向に傾斜している。

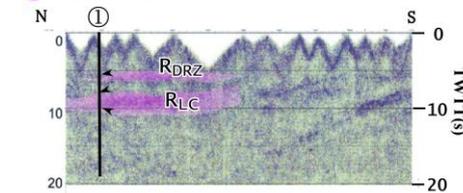
(6) 反射波群の地殻構造上の位置

図5(b)の3つの反射波群の地殻構造上の位置を明らかにするために、『2009 北米濃』の西端部と重なる『藤橋-上郡』の地震探査結果(爆破地震動研究グループ,1995)(図5(a)中の①)について反射法的再処理を行った。その結果、『藤橋-上郡』上のS-1、S-2の発破にともなうプロフィール上にRDRZ、RLCにそれぞれ対比される反射波群がTWT3~5秒、10秒付近において確認される(図6①)。『藤橋-上郡』はその中央部、ならびに西端部付近で、それぞれ本格的な反射法地震探査『新宮-舞鶴』(図5(a)中の②)(伊藤潔他,2005)、『西南日本』(図5(a)中の③)(Ito, T. et al.,2009)と交差するので、それぞれの反射プロフィールを図6の②、③に掲載する。これらに示された顕著な反射波群に注目すれば、RDRZならびにRLCがそれぞれ中部地殻ならびに下部地殻に位置することが確認される。さらに、『新宮-舞鶴』と『西南日本』からRLCの下限がモホ面に相当することも明白である。

① 藤橋-上郡



② 新宮-舞鶴



③ 西南日本

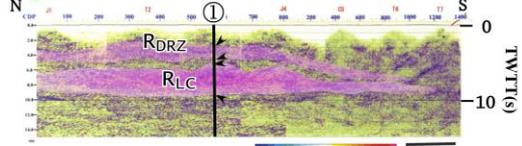


図6 『2009 北米濃』周辺の既存地震探査における反射法プロフィール（時間断面）。①：『藤橋-上郡』、②：『新宮-舞鶴』、③：『西南日本』。

以上を踏まえると、『2009 北米濃』で確認される RP は、北東にゆるく傾斜するフィリピン海プレート上面に対比される可能性が高い。ここでは、モホ面とフィリピン海プレート間のマントルウェッジは非常に薄くわずか数 km であることが注目される。

(7) まとめ

現在までに得られた (1) ~ (6) から中部日本のアクティブ・テクトニクスをとりあえずまとめる。

1) 中部日本南東部：伊豆弧の衝突は地殻最上部の浮揚性物質に限定され、伊豆弧側の物質の圧倒的部分はフィリピン海プレート共に中部日本側の下に沈み込んでいる。中新世以来中部日本側に付加された量は厚さ 40km に及び、これが南、中央アルプスを下部から隆起させ続けている。また、現在もフィリピン海プレートの沈み込み運動は、中期中新世における沈み込み帯の構造を引き継ぐ糸魚川静岡構造線活断層系 (A-ISTL) に伝達されている。

2) 中部日本北西部：フィリピン海プレート上面から中部日本側地殻下限のモホ面まではわずか数 km であり、しかもプレート上面と中部日本側地殻内の反射波群は調和的に北東に緩く傾斜している。このことは、敦賀湾伊勢湾構造線下にヒンジをもつフィリピン海プレート上面の緩やかな隆起が中部日本地殻内の変形と連動していることを示唆する。さらに一歩進めるならば、狩野(2002)が指摘する内帯中の美濃帯メガキンク (敦賀湾-伊勢湾構造線付近にヒンジ) は中期中新世後、現在に至るまで緩やかに成長し続けていることも推定され得る。

3) 以上のことから、本研究の出発点であった“中部日本のアクティブ・テクトニクスがフィリピン海プレート (PHS) の形状と運動、そして地殻内の地質構造に強く支配されている”という考えは、いっそう現実性の高いものとなったといえる。本研究が獲得した膨大なデータの解析と研究はなお続行中であり、ここに示した成果も暫定的なものである。可及的速やかにまとめ、今後の研究発展の基礎となるよう公表する所存である。

[謝辞]

本研究の軸をなす2つの探査は、環境省、関係自治体、地元住民の方々などのご支援とご理解によってはじめて可能となったものである。また、山岳域での困難なデータ

取得作業は (株) 地球科学総合研究所ならびに (株) 阪神コンサルタンツによって実施された。さらに、千葉大学、静岡大学、岐阜大学、信州大学、東京大学、京都大学の学生・大学院生諸君には昼夜にわたる現場作業を支援していただいた。以上の方々に深く感謝する。

なお、本研究では爆破地震動研究グループにより 1989 年に実施された地殻構造探査記録 (藤橋-上郡測線) のデータを再解析に使用させていただいた。ここに記して謝意を表したい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文]

- ① 伊藤谷生、佐藤比呂志、西南日本における海溝-島弧-縁海系の地殻構造-南海トラフから大和海盆北縁まで、地学雑誌、査読有、119、2010、235-244
- ② Panayotopoulos, Y., N. Hirata, H. Sato(3), T. Iwasaki(4)(他4名), Seismicity and crustal structure in the vicinity of the southern Itoigawa-Shizuoka tectonic line, *Earth Planets Space*, 査読有、62, 223-235, 2010.
- ③ 白石和也・岩崎貴哉(3)・佐藤比呂志(5)(他6名), 屈折初動走時トモグラフィ解析における初期モデルランダム化による解の信頼性評価, 物理探査, 査読有、63, 2010、345-356
- ④ 杉山雄一・狩野謙一(3)・村松 武(4)(他10名), 20 万分の1 地質図幅「静岡及び御前崎」(第2版). 産業技術総合研究所・地質調査総合センター, 2010.
- ⑤ Ito T., H. Sato(4), T. Iwasaki (6), N. Tsumura(8), T. Miyauchi(8), S. Yamakita (15), 他13名, Crustal structure of southwest Japan, revealed by the integrated seismic experiment Southwest Japan 2002, *Tectonophysics*, 査読有、472, 124-134, 2009.
- ⑥ Tsumura, N., T. Ito(6), T. Sato, T(7), T. Miyauchi(8), H. Sato(11)(他11名), A bump on the upper surface of the Philippine Sea plate beneath the Boso Peninsula, Japan inferred from seismic reflection surveys: A possible asperity of the 1703 Genroku earthquake, *Tectonophysics*, 査読有、472, 39-50, 2009.
- ⑦ Ikeda, Y., T. Iwasaki(2), K. Kano(3), T. Ito(4), H. Sato(5)(他5名), Active nappe with a high slip rate: Seismic and gravity profiling across the southern part of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, central Japan, *Tectonophysics*, 査読有、472, 72-85, 2009.

- ⑧ Sato, H., T. Iwasaki(5)(他5名), Deep seismic reflection profiling across active reverse faults in the Kinki Triangle, central Japan, *Tectonophysics*, 査読有、**472**, 86-94, 2009.
- ⑨ Kagohara, K., T. Miyauchi(3), H. Sato(4), Y. Ikeda(5)(他5名), Subsurface geometry and structural evolution of the eastern margin of the Yokote basin fault zone based on seismic reflection data, northeast Japan, *Tectonophysics*, 査読有、**470**, 319-328, 2009.
- ⑩ 岩崎貴哉・佐藤比呂志, 陸域制御震源地震探査から明らかになった島弧地殻・上部マントル構造, 地震2, 査読有、**61**, s165-176, 2009.

[学会発表]

- ① Ito, T., New scope extended by seismic profiling in central Japan, 14th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and their margins, Cairns (Australia), August 28 - September 3, Geoscience Australia, 61-61, 2010.
- ② Sato, H., Deep seismic reflection profiling of the subduction megathrust system across the Sagami trough and Tokyo bay, central Japan, 14th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and their margins, Cairns (Australia), August 28 - September 3, Geoscience Australia, 111-111, 2010.
- ③ Yamakita, S., Collision and bending processes of the south western Japanese island arc, 14th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and their margins, Cairns (Australia), August 28 - September 3, Geoscience Australia, 130-130, 2010.
- ④ 岩崎貴哉, 反射法/屈折・広角反射法統合解析によって明らかとなった糸魚川-静岡構造線北部の東傾斜構造, 日本地球惑星科学連合 2010 大会, 幕張メッセ, 5月23日~28日, 日本地球惑星科学連合, SCG088-P01, 2010.
- ⑤ 伊藤谷生, 中部日本深部地殻構造探査と新しい地殻変動論. 日本地球惑星科学連合予稿集. T226-014, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 谷生 (ITO TANIO)
千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：50111448

(2) 連携研究者

佐藤 利典 (SATO TOSHINORI) (H20~21)
千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：70222015

津村 紀子 (TSUMURA NORIKO) (H20~21)
千葉大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：00272302

宮内 崇裕 (MIYAUCHI TAKAHIRO) (H20~21)
千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：99212241

岩崎 貴哉 (IWASAKI TAKAYA) (H20~21)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：70151719

佐藤 比呂志 (SATO HIROSHI) (H20~21)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：00183885

池田 安隆 (IKEDA YASUTAKA) (H20~21)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：70134442

狩野 謙一 (KANO KEN'ICHI) (H20~21)
静岡大学・理学部・教授
研究者番号：30090517

三宅康幸 (MIYAKE YASUYUKI) (H20のみ)
信州大学・理学部・教授
研究者番号：70200144

金田 平太郎 (KANEDA HEITARO) (H21のみ)
千葉大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：30415658

(3) 研究協力者

小嶋 智 (岐阜大学・工学部・教授)、山北 聡 (宮崎大学・教育文化学部・准教授)、阿部 信太郎 (地震予知総合研究振興会・主任研究員)、大塚勉 (信州大学・理学部・教授)、河本和朗 (大鹿村中央構造線博物館・学芸員)、村松武 (飯田市美術博物館・主任学芸員)、松島信幸 (伊那自然友の会)、松波孝治 (京都大学防災研究所・准教授)、深畑幸俊 (京都大学防災研究所・准教授)、加藤潔 (駒澤大学・講師)、三宅康幸 (信州大学・理学部・教授：H21のみ)