



統合国際深海掘削計画 (IODP)
— 2003 年から 10 年の成果 —

プロジェクト IBM : 伊豆小笠原マリアナ (IBM) 掘削

田村 芳彦
異 好 幸

**Project IBM : Continental crust drilling in
the IBM oceanic arc**

Yoshihiko Tamura • Yoshiyuki Tatsumi

たむら よしひこ：海洋研究開発機構
たつみ よしゆき：神戸大学

2014年に米国の深海掘削船ジョイデスレブ
リューション号によって行われる伊豆小笠原弧の
深海海底掘削 (IODP EXP350, EXP 351, EXP 352)
は日本が主導する国際的なプロジェクト (プロ
ジェクト IBM) である。これらの掘削を通して、
大陸地殻の成因解明に対する新しい知見の蓄積
や、これまでの科学的常識に対するブレークス
ルーが期待される。さらにその先には「ちきゅう」
の超深度掘削による生まれたての大陸地殻の直接
採取・サンプルリターンが待ち構えている。

太陽系惑星の中で地球に唯一の特徴として、「大
陸と海洋」の存在があげられる。大陸の平均化学
組成はシリカ量が60%前後の安山岩であり (た
とえば Rudnick & Gao, 2003), また大陸弧では安山
岩質のマグマが卓越している。一方、海洋地域の
沈み込み帯である海洋島弧のマグマは、玄武岩と
流紋岩というバイモーダルな化学的特徴を示す
(図1)。よって地質学者は、海洋を研究して、地
球を特徴づける大陸の成因がわかるとは考えてい
なかった。この常識を覆したのは、地震波探査に
より地殻構造を研究する地球物理学者であった。
彼らはなんと海洋島弧の中部地殻に大陸地殻と同
一の特徴があることを見出したのである (図2)。

一方、マントルでできた初生マグマ (玄武岩組
成) がどのように分化して大陸地殻 (安山岩組成)
をつくるかは、地球惑星科学における大きな謎の
一つである (Taylor, 1967; Hofmann, 1988; 異
2003; Tatsumi, 2005; Tatsumi *et al.*, 2008 など)。
「Project IBM」は、海洋島弧においてどのように大
陸地殻 (中部地殻) が生成されるかを、沈み込み
の開始から現在までの時系列をたどり、総合的に
理解しようとするプロジェクトである (Tatsumi &
Stern, 2006)。

2012年9月にハワイにおいて Project IBM の
国際ワークショップが開催され、本プロジェク
トは最新の研究成果と新たな知見を加えて刷
新された。ワークショップレポートやすべての
プロポーザルおよび参加者のアブストラク
トは以下のウェブサイトに掲載されている

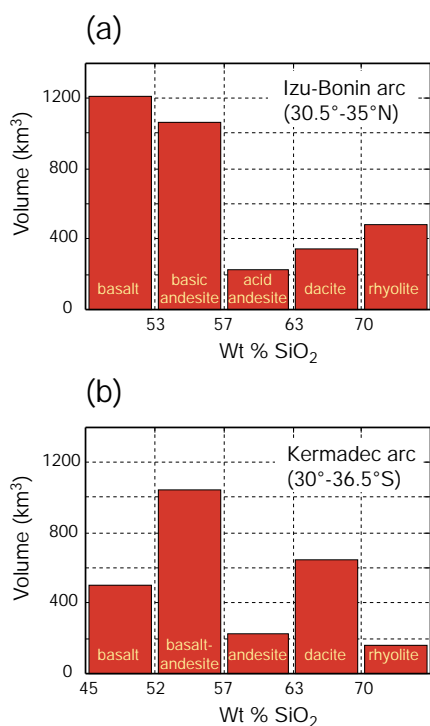


図1 海洋島弧である伊豆弧 (a) およびケルマディック弧 (b) における第四紀火山岩の堆積ヒストグラム (Tamura & Tatsumi, 2002 ; Wright *et al.*, 2006). 玄武岩とデイサイト-流紋岩が卓越するバイモダルな火成活動を示す。大陸地殻の平均化学組成であるシリカ 60%前後の安山岩は海洋島弧では稀である。

(<http://www.jamstec.go.jp/ud2012/>). 2014 年, IBM 弧の 3 地点を米国掘削船ジョイデスレゾリューション号 (JR 号) により掘削する。4 月から 9 月の 6 ヶ月かけて伊豆の背弧 (IBM-3), 島弧基盤の海洋地殻 (IBM-1), 初期島弧地殻 (IBM-2) を順次掘削し, 沈み込みの開始から現在までのマグマの変遷の歴史を明らかにする (図 2 および図 3)。これらは, Japan Initiative で提案してきた掘削提案であり, この掘削を Japan Initiative の研究成果につなげたいと考える。

プレート沈み込み帯のマントル (マントルウェッジ) で生成される初生マグマにはどのようなバリエーションがあるのかについては, 最近のマリアナ弧における初生マグマの発見などから徐々に明らかにされつつある (Tamura *et al.*, 2011 ;

Tamura *et al.*, 2014)。しかし, 初生マグマがどのように分化して大陸地殻 (安山岩組成) をつくるのかという問題は, 依然として地球惑星科学における大きな謎の一つである。これらの謎の解明と海洋島弧から大陸への成長と進化を明らかにするために, 「Project IBM」という掘削提案が 2006 年に IODP に提出された (<http://www.jamstec.go.jp/ud2012/>)。これは, 伊豆小笠原弧を米国のジョイデスレゾリューション (JR) 号で 3 地点の掘削をおこない, 沈み込み帯の進化を明らかにし, その上で地球深部探査船「ちきゅう」によって中部地殻までの大深度掘削をおこなって生まれたての大陸地殻 (中部地殻) を採取し, 大陸地殻の成因を明らかにしようとするものである。Project IBM は国際的に高い評価を受け, 「ちきゅう」による超深度・大陸地殻掘削は 2013 年 4 月に行われた国際ワークショップ「Chikyu+10」によって今後 10 年に「ちきゅう」がやるべきプロジェクトとして認定された。Project IBM は, 2014 年の 3 月 30 日に開始され, 9 月 29 日まで 6 ヶ月かけて, JR 号により 3 つの掘削が連続して行われる (IODP Expeditions 350, 351 および 352)。この IBM 掘削により採取されたコアを分析・解析することより, 広域に時系列をいれた沈み込み帯のマグマ組成の進化を明らかにする。さらに, IBM 弧の始まりと変遷の検討をおこない, 沈み込み帯のマグマと地殻の時系列進化モデルとマグマの大陸地殻分化モデルを作成する。

EXP 350, 351, 352 は, それぞれ, 「沈み込み帯の火成活動の時系列変化と島弧横断方向バリエーションの成因 (IBM-3)」「沈み込み帯の基盤と初期の火成活動 (IBM-1)」「沈み込み開始と最初期の火成活動 (IBM-2)」をテーマとする。IODP により掘削された溶岩, 火山砕屑物, タービダイトなど大量の試料の解析は, 広域のマグマ活動の時系列変化をたどることを可能にし, 沈み込み帯の始まりと進化を明らかにし, 大陸地殻成因にとって不可欠の情報を与える。たとえば, 伊豆弧の進化と地殻の全貌がわかることで, 島弧および衝突帯における地殻融解と大陸地殻形成に関する仮説

Project IBM

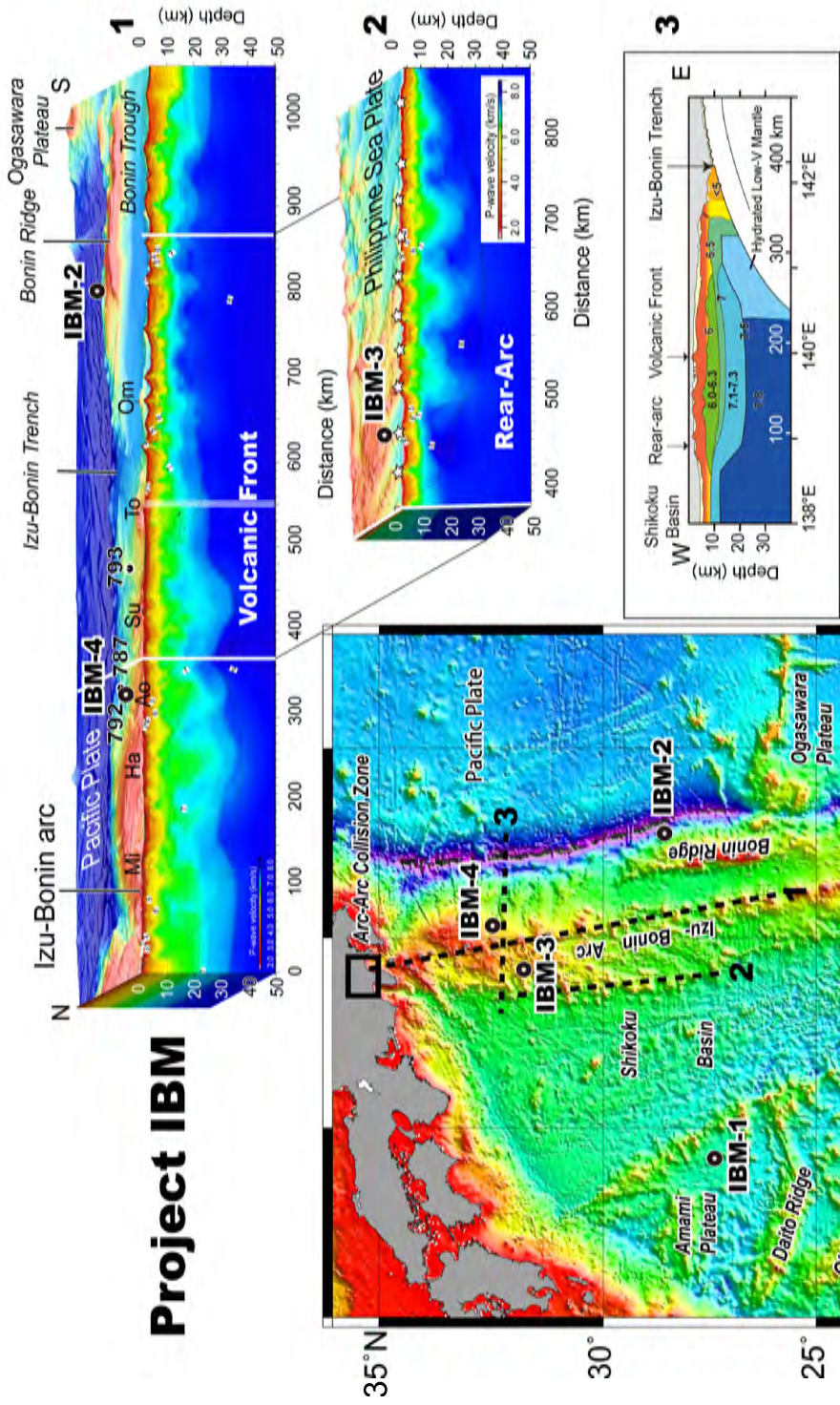


図2 フィリピン海プレート北部の海底地形と伊豆弧の地殻構造。太平洋プレート西部の古い海洋底(135-180 Ma)が伊豆小笠原海溝よりフィリピン海プレートに沈み込んでいる。1は火山フロントに沿った地殻構造(Kodaira *et al.*, 2007ab)。2は伊豆背弧に沿った地殻構造(Kodaira *et al.*, 2008)。3は伊豆弧を横断する地殻構造(Suyehiro *et al.*, 1996; Takahashi *et al.*, 1998)。大陸地殻と同一の特性を持つ中部地殻(地震波P波速度が6.0-6.8 km/s)が伊豆小笠原マリアナ弧(IBM弧)に普遍的に存在している。IBM-1, IBM-2, IBM-3は2014年の米国ジョイノリユーション号による掘削サイト。IBM-4は地球深部探査船「ちきゅう」によって大陸地殻を目指す超深度掘削予定サイト。

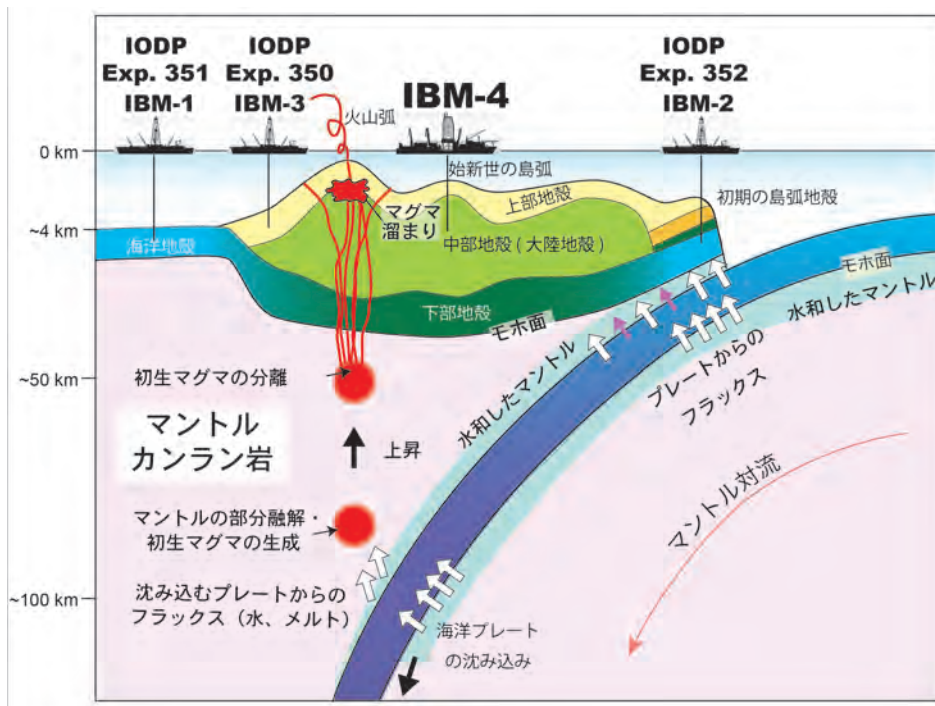


図3 沈み込み帯における地球内部のダイナミクス(挙動)についての概念図とProject IBMの概念図。まず、沈み込むプレートから水や堆積物(液体状態のメルト)が上位のマンテルカラン岩に放出される(深さ100 km-200 km)。マンテルカラン岩の大部分は固体であるが、水やメルトによって融点さが下がり、局所的な融解が起こり、初生マグマが生成する。融解し、初生マグマを含んだマンテルカラン岩は上昇し、深さ30-60 km付近で初生マグマを分離する。初生マグマは、地殻内のマグマ溜まりにおいて分化し、溶岩や火山灰となって地表に噴出すること等により固結する。IBM-1は沈み込み開始以前の海洋地殻とその上の火山性堆積物の掘削を目指す。IBM-2は沈み込み開始初期のマグマ活動の解明を目指す。IBM-3は中部地殻を形成した火成活動の沈み込み初期から現在までのマグマの時系列変化と島弧横断方向のマグマ組成の違いの原因を究明する。IBM-4は「ちきゅう」による超深度掘削により、できたての大陸地殻(中部地殻)を実際に掘削し、コア試料を採取し、大陸地殻の成因を明らかにする。2014年の掘削の順番はIBM-3(Exp. 350)、IBM-1(Exp. 351)、IBM-2(Exp. 352)である。

(たとえば Tamura *et al.*, 2009 ; Tamura *et al.*, 2010) が検証される。さらに、初生マグマが示す沈み込み帯の特徴と掘削コアの分化したマグマ組成を比較・検討し、分化によって失われるものと、新たに加わるものから、その間(玄武岩と流紋岩の間)のミッシングギャップである大陸地殻(安山岩)の成因に迫る。

IBM掘削は、世界の注目する海域における、Japan Initiativeのプロポーザル(仮説検証型のサイエンス・プロポーザル提案・事前調査が日本主導のもの)が基になっている。田村芳彦、石塚治(産業技術総合研究所)はそれぞれExp. 350とExp.

351のコチーフとして乗船する。これらの海底掘削により採取される試料は、どちらも人類が初めて手にする未知の貴重な試料であり、限りない発見の可能性に満ちている。この研究は一方では仮説検証型であり、そのデータは我々のこれまでの仮説の検証に用いられる。他方、新しい試料は、これまでの仮説では説明できないデータを必ず提示するものである。これまでの常識を覆すようなブレイクスルーも生まれると予想する。また、神戸大学、金沢大学、新潟大学などからの若い研究者およびポスドクの参加により、分析技術が継承・発展するとともに、柔軟な思考での新発見へ

と、また自立した研究者の誕生へと繋がっていく。

2014年3月30日から5月30日(IBM-3) IODP Exp. 350: 伊豆背弧の掘削(Missing Half of the Subduction Factory失われた半分)。水深2,114 mの掘削点を海底下2,100 m掘削し、現在の地層から、伊豆の背弧で未確認の漸新世-始新世の地層までを採取し、従来の前弧において得られている掘削コアと対比させて、伊豆弧全体の発達を総合的に理解する。島弧横断方向の化学組成の変化の始まりと時系列進化を明らかにし、その成因を探る。

5月30日から7月30日(IBM-1) IODP Exp. 351: 奄美三角海盆の掘削(Pre-existing crust and mantle 沈み込み開始以前の地殻とマントル)。水深4,720 mのこの地点には、1,300 mの堆積物の下に、沈み込みの始まる前の海洋地殻が存在する。その海洋地殻と直上の堆積物を採取し、島弧の基盤(海洋底)とIBM弧沈み込みの最初期の火山噴出物の組成とその変化を明らかにする。

7月30日から9月29日(IBM-2) IODP Exp. 352: 小笠原海嶺の掘削(Initial arc crust and subduction initiation 最初にできた地殻と沈み込みの始まり)。水深4,780 mと3,100 mの2地点のオフセット掘削(それぞれ1000 m掘削する)により、沈み込みの最初期の火山活動でできた火山岩と深成岩の地殻を採取する。これらを採取することによって、沈み込み帯の最初期のマグマの特徴とそれが現在のマグマへと変遷していく時系列を明らかにする。

これら3地点の掘削により、伊豆弧東西方向のマグマ活動の時系列変化、沈み込みが始まる以前の地殻、および沈み込みの始まりとその変遷が明らかになる。しかし、そのためには膨大な掘削コアの効率的な処理と分析・解析が必要である。All Japan体制で、世界に先んじた研究が次々と生み出されていくと考えている。

参考文献

- [1] Kodaira, S., Sato, T., Takahashi, N. *et al.* (2007a). Seismological evidence for variable growth of crust along the Izu intraoceanic arc. *Journal of Geophysical Research* 112, B05104, doi:10.1029/2006JB004593.
[2] Kodaira, S., Sato, T., Takahashi, N. *et al.* (2007b). New

seismological constraints on growth of continental crust in the Izu-Bonin intra-oceanic arc. *Geology* 35, 1031-1034.

[3] Kodaira, S., Sato, T., Takahashi, N. *et al.* (2008). Seismic imaging of a possible paleoarc in the Izu-Bonin intraoceanic arc and its implications for arc evolution processes. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 9, doi:10.1029/2008GC002073.

[4] Suyehiro K, Takahashi N, Ariie Y *et al.* (1996) Continental crust, crustal underplating, and low-Q upper mantle beneath an island arc. *Science* 272, 390-392.

[5] Takahashi N, Suyehiro K, Shinohara, M (1998) Implications from the seismic crustal structure of the northern Izu-Bonin arc. *Island Arc* 7, 383-394.

[6] Tamura, Y. & Tatsumi, Y. (2002). Remelting of an andesitic crust as a possible origin for rhyolitic magma in oceanic arc: an example from the Izu-Bonin arc. *Journal of Petrology* 43, 1029-1047.

[7] Tamura, Y., Gill, J. B., Tollstrup, D. *et al.* (2009). Silicic magmas in the Izu-Bonin oceanic arc and implications for crustal evolution. *Journal of Petrology* 50, 685-723.

[8] Tamura, Y., Ishizuka, O., Aoiike, K. *et al.* (2010). Missing Oligocene crust of the Izu-Bonin arc: consumed or rejuvenated during collision? *Journal of Petrology* 51, 823-846.

[9] Tamura, Y., Ishizuka, O., Stern, R. J. *et al.* (2011). Two primary basalt magma types from Northwest Rota-1 volcano, Mariana arc and its mantle diapir or mantle wedge plume. *Journal of Petrology* 52, 1143-1183.

[10] Tamura, Y., Ishizuka, O., Stern, R. J. *et al.* (2014). Mission Immiscible: Distinct Subduction Components Generate Two Primary Magmas at Pagan Volcano, Mariana Arc. *Journal of Petrology* 55, 63-101.

[11] 巽好幸 (2003). 安山岩と大陸の起源-ローカルからグローバルへ. 東京大学出版会.

[12] Tatsumi, Y. (2005). The Subduction Factory: How it operates in the evolving Earth. *GSA Today* 15, 4-10.

[13] Tatsumi, Y. & Stern, R. J. (2006). Manufacturing Continental Crust in the Subduction Factory. *Oceanography* 19, 104-112.

[14] Tatsumi, Y., Shukuno, H., Tani, K. *et al.* (2008). Structure and growth of the Izu-Bonin-Mariana arc crust: 2. Role of crust-mantle transformation and the transparent Moho in arc crust evolution. *Journal of Geophysical Research* 113, B02203, doi:10.1029/2007JB005121.

[15] Wright, I. C., Worthington, T. J. & Gamble, J. A. (2006). New multibeam mapping and geochemistry of the 30°-35° S sector, and overview, of southern Kermadec arc volcanism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 149, 263-296.

