

月惑星表面のクレータ記録からみた天体衝突史 Impact history revealed by the cratering records of the Moon and planets

諸田 智克^{1*}
MOROTA, Tomokatsu^{1*}

¹名古屋大学
¹Nagoya Univ.

地球形成以後の地球外物質の供給の歴史を理解することは、地球の水の起源を考える上で本質的に重要である。月や惑星の表面は過去45億年に及ぶ天体衝突の歴史をクレータとして記録しており、地球外物質の供給史を紐解くための数少ない情報源である。

現在、地球-月系に衝突する可能性のある地球近傍小天体の多くは小惑星帯の内側を起源としており、それらは主にS型小惑星に分類される。一方で太陽系初期では、S型小惑星よりも揮発性物質を多く含む天体の供給があった可能性がある。例えば、後期重爆撃期仮説を説明するモデルとして近年提案されているニースモデルによると、巨大惑星の大移動によって揮発性物質を多く含む太陽系外縁部天体や小惑星帯の外側に位置していた天体を地球軌道にもたらし機構が考えられている。このような太陽系外縁部から地球に大量の物質が供給されるイベントは本当に起こったのだろうか。

本発表では月を中心とする固体天体表面のクレータ統計研究とそれから導かれる太陽系初期の小天体の軌道進化過程や天体衝突史に関する現状理解を整理するとともに、日本の月周回衛星「かぐや」で得られた成果について紹介する。

キーワード: 天体衝突, クレータ, クレータ年代学, 月, 後期重爆撃期
Keywords: impact, crater, cratering chronology, Moon, late heavy bombardment

すばる望遠鏡のHSC戦略枠サーベイが目指す太陽系小天体研究 Solar system science by the Subaru Hyper Suprime-Cam survey

吉田 二美^{1*}
YOSHIDA, Fumi^{1*}

¹ 国立天文台
¹NAOJ

2014年3月よりHyper Suprime-Cam (HSC)による戦略枠プログラムが始まり、約1500平方度という広い領域のサーベイが行われる。すばるのような大型望遠鏡を使った広領域のサーベイはこれが初めてで、 $r'=22-27$ 等の太陽系小天体が多数検出されると予想される。今までの広視野サーベイに比べてはるかに小さい天体まで検出可能であり、太陽系小天体グループごとのサイズ分布のフェイントエンドを決定するための格好の機会である。

これまで太陽系小天体のフェイントエンドのサイズ分布を決める観測は、同じくすばる望遠鏡に搭載されているSuprime-Camで行われてきたが、全サーベイ領域は10平方度程度と狭く、もっと多くの天体を検出してサイズ分布の決定精度を高める必要があった。HSCサーベイでは桁多いサインプ数を見込めるので、メインベルトの区画(内側(S型小惑星が大半)/中央(S・C型)/外側(C型小惑星が大半))毎のサイズ分布を決定し、小惑星組成と壊れやすさの関係を明らかにし、小惑星帯全体としての、小惑星組成・内部構造を明らかにすることをめざす。また、天体像の広がり具合を調べて、メインベルト内の水分分布を明らかにするために重要なメインベルト彗星候補の検出もめざす。メインベルト領域の天体の一部は、近地球天体(NEOs)へと軌道進化することが知られており、それらが地球へ水を供給したかもしれない。したがって、HSCサーベイにより観測的にメインベルト全体の物質組成・分布を明らかにすることは、惑星形成に伴う天体移動やその他の小天体の軌道進化の計算と合わせて、地球への物質輸送の様相を明らかにするための重要な手がかりとなる。

さらに、HSCサーベイではメインベルトの外側の木星トロヤ群や太陽系外縁天体(TNOs)についても十分な検出数が見込める。トロヤ群天体については、L4とL5群の違いについて、TNOについては、cold/hot集団間のサイズ分布差の定量的な評価を行うことを計画している。

講演ではSuprime-Camで行われたサーベイ結果の紹介も交えながら、HSCサーベイで期待される太陽系小天体研究について述べる。

キーワード: 太陽系小天体, 広視野サーベイ, 測光, 小惑星, トロヤ群天体, 太陽系外縁天体
Keywords: Small Solar System Bodies, Wide field survey, Photometry, Asteroids, Trojans, TNOs

はやぶさ2近赤外分光計で探る地球の水の起源 Exploring the origin of Earth's water by the Hayabusa-2 near-infrared spectrometer

北里 宏平^{1*}; 岩田 隆浩²; 安部 正真²; 大竹 真紀子²; 廣井 孝弘³; 中村 智樹⁴; 小松 睦美⁵;
荒井 朋子⁶; 中藤 亜衣子²; 大澤 崇人⁷; 仲内 悠祐⁵; 渡邊 誠一郎⁸
KITAZATO, Kohei^{1*}; IWATA, Takahiro²; ABE, Masanao²; OHTAKE, Makiko²; HIROI, Takahiro³;
NAKAMURA, Tomoki⁴; KOMATSU, Mutsumi⁵; ARAI, Tomoko⁶; NAKATO, Aiko²; OHSAWA, Takahito⁷;
NAKAUCHI, Yusuke⁵; WATANABE, Sei-ichiro⁸

¹ 会津大学, ² 宇宙科学研究所, ³ ブラウン大学, ⁴ 東北大学, ⁵ 総合研究大学院大学, ⁶ 千葉工業大学, ⁷ 日本原子力開発機構,
⁸ 名古屋大学

¹University of Aizu, ²JAXA/ISAS, ³Brown University, ⁴Tohoku University, ⁵Graduate University for Advanced Studies, ⁶Chiba
Institute of Technology, ⁷JAEA, ⁸Nagoya University

小惑星探査機「はやぶさ2」に搭載した近赤外分光計(NIRS3)は、水酸基や水分子の赤外吸収が見られる3 μ m帯の反射スペクトルを測るリモートセンシング機器である。我々はNIRS3を使って、2018-19年の期間に近地球C型小惑星1999JU3の近接観測を行い、その表面の含水鉱物分布の特徴を明らかにすることを計画している。近年、地上観測からC型小惑星の内部に氷の存在を示唆する結果が報告されており、地球の海洋形成におけるC型小惑星の寄与が従来の想定よりも大きくなる可能性が出てきた。内部氷の存在を検証するには水質変成が起きたときの水の挙動を理解することが必要であり、NIRS3では衝突装置が作り出す人工クレーターの観測から加熱脱水や宇宙風化による二次的な変成の影響を識別し、母天体上で起きた水質変成の情報を抽出することを目指す。本発表ではC型小惑星の最新の描像をもとに、NIRS3で期待される成果について紹介する。

キーワード: はやぶさ2, 小惑星, 水, 近赤外分光

Keywords: Hayabusa-2, asteroids, water, near-infrared spectroscopy

含水炭素質コンドライトの脱水および復水過程 Dehydration and rehydration of hydrous carbonaceous chondrites

中村 智樹^{1*}; 松岡 萌¹; 山下 小百合¹; 佐藤 勇大¹; 城後 香里¹; アン インスー²; リ ジョンイク²;
今栄 直也³; 山口 亮³; 小島 秀康³
NAKAMURA, Tomoki^{1*}; MATSUOKA, Moe¹; YAMASITA, Sayuri¹; SATO, Yudai¹; JOGO, Kaori¹; AHN, Insu²;
LEE, Jong-ik²; IMAE, Naoya³; YAMAGUCHI, Akira³; KOJIMA, Hideyasu³

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 韓国国立極地研究所, ³ 国立極地研究所
¹Tohoku University, ²Korean Polar Research Institute, ³National Institute of Polar Research

Asteroidal water in hydrous C-complex asteroids is one of the possible source of Earth's ocean. The hydrous C-complex asteroids consist of hydrous carbonaceous chondrites and therefore the water came to the earth as such hydrated meteorites. CM chondrites are the most abundant group of carbonaceous chondrites, composed mainly of hydrous minerals such as serpentine (cronstedtite) and tochilinite. They show 0.7- μm and 3- μm absorption bands in the reflectance spectra. The 0.7- μm band is a spectral feature characteristic of CM chondrites, because it is common in CM chondrites and rare in other hydrated carbonaceous chondrites (Cloutis et al. 2011). Recent investigation on spectral data of asteroids indicated that 30 \pm 5% of C-complex asteroids shows 0.7- μm band (Rivkin, 2012), suggesting that CM materials are also common at main belt asteroids.

Some CM chondrites have been heated to temperature sufficient for dehydration of hydrous minerals (e.g., Akai, 1990; Nakato et al. 2008) and are classified to heating stage I to IV based on the degree of heating (Nakamura, 2005). On the other hand, not a few C-complex asteroids show reflectance spectra similar to dehydrated CM chondrites (Hiroi et al. 1993). In the present study, we performed analyses of reflectance spectra, X-ray diffraction, and water contents of hydrated and dehydrated CM chondrite samples. In addition, heating experiments were conducted in order to observe changes of reflectance spectra, X-ray diffraction, and water content with increasing temperature. Murchison CM chondrite was heated for 50 hours at temperatures of 400, 600, and 900 °C at IW oxygen buffer.

Heating experiments showed that tochilinite decomposes and serpentine partly becomes amorphous at 400 °C, serpentine completely decomposes and secondary olivine nucleates at 600 °C, and olivine becomes well crystalline and metallic FeNi generates at 900 °C. The samples heated at 400, 600, and 900 °C reproduced the mineralogy of CM chondrites with heating stage II, III, and IV, respectively. The 0.7- μm band disappears by heating at 400 °C. The 3- μm band strength decreases with increasing temperature, but does not disappear even at 900 °C. Water contents of unheated and experimentally heated Murchison samples were determined by the Karl Fischer titration method with stepped heating: 10.0, 6.6, 1.2, and 0.6 wt% of water recovered from unheated, 400, 600, and 900 °C samples, respectively. The result clearly indicates that the dehydration proceeds with increasing temperature. On the other hand, in the stepped heating analysis, most of the water was released below 600 and 900 °C from 600 and 900 °C heated samples, respectively. This indicates that water in the 600 and 900 °C samples (1.2, and 0.6wt%, respectively) was acquired into samples by rehydration in the atmosphere after heating experiments. The rehydration water is tightly bounded to samples, because the largest release of water was detected at 400 °C from both 600 and 900 °C heated samples. If we omit rehydration water from the total water contents, then dehydration is completed in Murchison by heating at 600 °C for 50 hours (heating stage III).

On the other hand, the results of reflectance spectra measurement of naturally heated CM chondrites reveals that even samples of heating stage IV such as Dho735, B7904 and Y86720 show 3- μm absorption band, which suggests rehydration. Water-content analysis of Dho735 confirms the rehydration: most of water was released at 300~600 °C. The water analysis concludes that dehydrated CM chondrites are a strong water absorber. This suggests that dehydrated-CM materials on the surface of C-complex asteroids would resorb the water released upon impacts of hydrous micrometeorites from other asteroids and comets.

Keywords: aqueous alteration, C-complex asteroids, reflectance spectra, water analysis

水の量が中途半端である意義：「海陸共存」惑星地球の気候的特性について Significance of incompleteness as an aqua planet: Earth's climate with land-sea coexistence

山中 大学^{1*}

YAMANAKA, Manabu D.^{1*}

¹ 神戸大学理学研究科惑星学専攻・海洋研究開発機構連携講座

¹JAMSTEC-Cooperative Division, DP-GSS, Kobe University

我々の惑星地球は、本体内部の活動による地殻表面の凹凸が維持され、太陽からの距離で決まる温度条件で維持された液相の水は全球を覆わず海陸共存状態にあり、その気候は、地殻凹凸が海面を越えない水惑星や、液相の水のない陸惑星と本質的に異なっている。

第一に自転惑星流体では、水平な渦 (Rossby) 運動が鉛直の対流 (重力波) 運動より卓越し木星型惑星の縞模様のようになるが、海洋は陸を越えず曲げられ黒潮・湾流のように極向きに熱を運ぶ。第二に惑星上の日射は、公転 (離心率による全球同相および自転軸傾角による半球間逆位相) 周期、ならびに自転 (太陽日) 周期で変化するが、これらは海陸の熱的コントラストで大いに増幅される。第三に、大気・海洋間には海洋向きの力学的と大気向きの熱的な強制による相互作用が存在するが、陸面・海面間では液相の遅い河川と気相の速い海風が平衡している。これら大気・海洋・地殻という地球表層 3 相間の三重点が海岸線であり、例えば大気海洋 (気候変動) による浸食作用、地殻変動による造陸作用などが関与して維持されているはずである。

海陸共存は特に赤道域で本質的に重要である。ここでは自転軸が水平となるため対流運動が卓越し、海陸間の日射加熱差や水循環に支配されるからである。特に島嶼で海岸線が長いインドネシア海大陸域は、最多雨となる。水惑星では 1~2 ヶ月かけて地球を周回するだけの暖水と雲のペアは、海大陸と米阿両大陸で暖水が堰止められ反射されるため数年周期で振動する (エルニーニョ南方振動、インド洋ダイポールモード)。従って、この海大陸域は、地球にいながらにして観測に立脚した惑星大気科学的研究を行える対象として、極めて重要である。

海岸線や河川には、人類の世界拡散、文明発祥以来現在もおお人口や富が集中し、そのため観測も偏在するが、偶然にも気候学的特異点であったため弊害は抑えられた。気候学的重要性の割には観測頻度が低かった海大陸域では、今後は日本の研究陣に代わって、G20 インドネシアが本格的に参入する全地球観測が開始されつつある。

キーワード: 海陸共存, 海岸線, 気候, 自転・公転効果, 人類, インドネシア海大陸

Keywords: land-sea coexistence, coastline, climate, rotation and revolution, human beings, Indonesian maritime continent

地球深部への水輸送とマントル対流との相互作用 Water transport to the deep mantle and its effects on the mantle dynamics

中久喜 伴益^{1*}; 中川 貴司²; 岩森 光³
NAKAKUKI, Tomoeki^{1*}; NAKAGAWA, Takashi²; IWAMORI, Hikaru³

¹ 広島大・院理・地球惑星システム学, ² 海洋研究開発機構/数理科学・先端技術, ³ 海洋研究開発機構/地球内部物質循環
¹Dept. Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima Univ., ²MAT, JAMSTEC, ³Geochemical Evolution Research Program, JAMSTEC

島弧下のマントルの流動と水輸送を結合した数値モデリングにより、スラブが脱水してから部分融解の生成に至るまでの過程を詳しく理解できるようになった (Iwamori, 1998)。一方、背弧や大陸プレート内部においても、火山活動が見られることや、リソスフェアが大きく変形し、テクトスフェアのように表層に厚い地震波高速度域が見られないことから、沈み込んだスラブからの水が影響を与えている可能性があると考えられる。さらに、Iwamori and Nakamura (2012) では、同位体異常の独立成分解析から1つの独立成分 (IC2) は親水元素の分布を示すと考えた。その分布に半球的な大規模構造が存在することが示されている。マントル深部に沈み込んだ水はどこに運ばれ、マントルダイナミクスにどのような影響を与えるのであろうか。これらの動力学的過程を理解するため、沈み込み帯深部までの水輸送とプレートの沈み込みを動的結合したマントル対流の数値モデルを構築し、シミュレーションを行った。

基礎となるモデルとして、これまで著者らが開発してきた自発的沈み込みのモデル (Nakakuki, et al. 2010) を使用した。このモデルに、含水鉱物の相図と水輸送を組み込む。岩石の最大含水量は相図から決まる水和鉱物・結晶内の水だけでなく、結晶粒界の水も考慮した。水がマントル対流に与える影響として、含水によって岩石の密度や粘性が低下する効果を考える。最大含水率を超えると岩石は脱水し、その水は浸透流により上方に運ばれると考えられる。脱水した水は瞬間的に上方へ動く仮定した。

岩森らの研究や地震学的な研究 (Kawakatsu and Watada, 2007) によると、海洋地殻から脱水した水は、スラブ上面の橄欖岩に取り込まれ蛇紋岩として、150km程度の深さまで輸送される。我々のモデルでは、この含水層が安定に形成されるためには、沈み込む海洋地殻の含水量は2%程度以上でなければならなかった。また、強度については、プレート境界の逆断層と同程度かそれよりも小さくしなければならなかった。これらは Horiuchi (2013) の結果と調和的である。この相が choke point で分解した後、水は高温のマントルへ脱水し、高温の nominally anhydrous minerals (NAMs) により深部へ輸送される。このとき、NAMs が持つことの出来る水は最大で 0.2 wt. %程度と推定された。これより大きい場合 (0.4 wt. %) には、深部へ輸送される水が多くなりすぎて島弧下のマントルを水で満たすことは出来なくなった。深部に運ばれる水の量は、海洋地殻に含まれる水の量によらず、海洋地殻に対する質量比で約 1%であった。

Richards and Iwamori (2010) は水平なスタゲナントスラブが形成された際、含水層がレイリー・テイラー不安定を起こし、ブルームとして上昇する可能性を示した。これに対し本研究では、そのような不安定の発生は見られなかった。一方、下部マントルに沈み込むスラブは、下部マントルの最大含水率に依存して脱水する。下部マントルの含水力が 410km 以浅の NAMs マントルより小さい場合には脱水を起こす。この場合、スラブ上面の含水層は 660km 相境界面を境に大きく水平方向へ広がるのが分かった。これは、上方への脱水と沈み込みに伴う斜め下降を繰り返すためである。脱水した水によって、水に飽和した薄い層が 660km 相境界直上に形成された。この層は軽く、不安定となり、含水ブルームとして上昇し始める。一方、下部マントルに運ばれる水の量は、含水層が広がることによって、上部マントルの NAMs と下部マントルの最大含水率比の 5 倍程度になる。また、スラブがマリアナ弧のように海側に傾く時には、660 km 相境界にてスラブの低温側 (D 相) に水が入る可能性があることを示した。

下部マントルに沈み込んだ水はスラブとともに核・マントル境界 (CMB) に落下する。マントル最下部には平均的なマントルより密度が高い物質が集積していて、これが地震波の大規模横波低速度域 (LLSVPs)、すなわちスーパーブルームの原因となっていると考えられている。沈み込んだスラブは密度が高い物質を沈み込んだ場所から掃き出してしまふ。つまり、LLSVPs と水分分布は排他的となることを意味する。OIB ソースとして、CMB 上の高密度層が考えられることが多い。しかし、Iwamori and Nakamura (2012) によると OIB 的な IC1 と親水元素の IC2 は排他的ではない。独立成分の解釈が正しいとすれば、我々の結果は OIB ソースが LLSVPs のような CMB 上の一部を占めるパイルではないことを示している。

キーワード: 水輸送, 沈み込み, マントル対流, 大規模不均質構造

MIS35-06

会場:201A

時間:5月24日 10:15-10:30

Keywords: water transport, subduction, mantle convection, large-scale heterogeneity

マントル対流シミュレーションによって予測される水蒸気脱ガス量について On the degassing of water vapor inferred from mantle convection simulations

中川 貴司^{1*}
NAKAGAWA, Takashi^{1*}

¹ 海洋研究開発機構数理科学・先端技術研究分野

¹Department of Mathematical Science and Advanced Technology, JAMSTEC

The degassing process of volcanic activity would be influenced to the formation of surface environment of Earth, which has been argued from simplified and theoretical model of co-evolution of planetary interior and surface [e.g. McGovern and Schubert, 1989; Tajika and Matsui, 1992]. Those models, however, used the parameterized convection model for heat transfer and volatile circulation as well as degassing process. Recent progress of numerical modeling of mantle dynamics can trace the magmatic activity and water circulation over the geologic time-scale [e.g. Nakagawa et al., submitted]. However, such an investigation was not included for effects of melt-phase system such as expressed by the density structure of silicate melt. This effect would be essential for reconciling the thermo-chemical state of early Earth' interior [Labrosse et al., 2007; Lee et al., 2010]. In this study, we attempt to construct global-scale water circulation model in thermo-chemical mantle convection simulations including melt-phase system and degassing-regassing processes over the geologic time-scale. The melt-phase system is based on the density structure of molten silicate found from Stixrude et al. [2009]. Preliminary results found from this study are suggested that huge volcanic activity would be expected in early Earth when the density crossover between solid silicate and molten silicate is assumed in the deep mantle, which the molten silicate is much denser than solid silicate. This also suggests that the degassing rate of water vapor in the early Earth would be more efficient with the denser molten silicate in the deep mantle compared to the less dense case. More detailed results and discussion will be shown in the presentation.

キーワード: 融解相関係, 水循環, マントル対流, 火成活動, 脱ガス

Keywords: Melt-phase system, Water circulation, Mantle convection, Magmatism, Degassing

地球の水の起源と進化：物質科学からのアプローチ Origin and evolution of water in the Earth inferred from geological evidences

片山 郁夫^{1*}; 松影 香子²; 木村 純一³; 川本 竜彦⁴

KATAYAMA, Ikuo^{1*}; MATSUKAGE, Kyoko N.²; KIMURA, Jun-ichi³; KAWAMOTO, Tatsuhiko⁴

¹ 広島大学地球惑星システム学, ² 神戸大学地球惑星科学, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 京都大学地球惑星科学

¹Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe University, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁴Department of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University

地球という星は表層をおおう海洋で特徴づけられるが、その水はどこからどのように供給され、そして地球にのみ海洋が継続して存在しえたのはなぜだろうか？ この問題は、生命の誕生・発展と関連し、地球の進化を解明する上で極めて重要な課題の一つといえる。「地球の選択」プロジェクトでの本研究班の役割は、地球に記録されている物質学的な証拠をもとに、地球の水の起源と進化の解明に取り組むことである。具体的には、(1) 地球の水の起源、(2) 海洋の形成とプレートテクトニクスの開始、(3) 大陸の形成と水の分別、(4) 火成活動による地球内部の水変遷、(5) 地球内部への水輸送と海水の逆流の各テーマに取り組む。これらいずれのプロセスも水と固体地球の相互作用の結果である。例えば、地球に水が供給され原始海洋が形成されることによって、プレートの沈み込みが開始し大陸が形成されるようになった。これら地球初期の証拠は少ないが、冥王代のアパタイトやジルコンに取り込まれている流体包有物の局所分析から、地球の水の起源を明らかにする。また、大陸が形成して以降の水の進化は、火成活動により地球内部から表層に放出されたマグマやマントル捕獲岩の化学組成をもとに、地球内部の水量がどのように変遷したかを検証する。沈み込み帯で地球内部へ輸送される水については、海洋リソスフェアの水の取り込みに注目し、地球内部への流入量と島弧火成活動により放出される流出量のマスバランスの時代変化を検証する。また、火星や金星など他の地球型惑星や月の水の起源や変遷と比較し、なぜ地球が他の惑星とは異なる運命を辿ったかを解明していきたい。

キーワード: 地球内部の水分別, 地球内部の水変遷, 地球内部への水輸送

Keywords: water differentiation in the Earth, water evolution in the Earth, water transportation into the Earth

地球内部への水輸送 - 海洋プレートの実態研究 - Water transportation into the earth's interior - Oceanic plate and its evolution -

藤江 剛^{1*}; 小平 秀一¹; 海宝 由佳¹; 佐藤 壮¹; 高橋 努¹; 高橋 成実¹; 山本 揚二郎¹; 山田 知朗²
FUJIE, Gou^{1*}; KODAIRA, Shuichi¹; KAIHO, Yuka¹; SATO, Takeshi¹; TAKAHASHI, Tsutomu¹;
TAKAHASHI, Narumi¹; YAMAMOTO, Yojiro¹; YAMADA, Tomoaki²

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学地震研究所
¹JAMSTEC, ²ERI, Univ. of Tokyo

地球表層に豊富に存在する水が地球内部に運ばれると、地震火山活動やマントル対流など固体地球のダイナミクスに多大な影響を及ぼす。地球の進化は、地球表層から地球内部への水輸送を抜きにしては語ることはできないだろう。では、表層の水はどのようにして地球内部へ運ばれているのだろうか？ 高温高压な地球内部に液体の水は浸透できない。そのため、水はマントル対流による物質循環の一環として、含水鉱物の形で地球内部へと運ばれることになる。すなわち、含水化した海洋プレートの沈み込みが地球内部への水輸送を担っている。

海洋プレートの含水化は、従来、中央海嶺におけるプレート生成時の地殻の含水化が主要なものであると考えられていた。しかし、最近になって、海底面からマントルまで貫くアウターライズ断層のような大規模な亀裂が水の浸透経路として作用することで、マントル含水化(蛇紋岩化)が大規模に生じている可能性が指摘されるようになってきた。蛇紋岩化することでマントルは地殻に比べて大量の水を含み得るため、蛇紋岩化が大規模に進行しているならば海洋プレートが輸送する水量は従来の想定より遥かに大きいことになる。

このような可能性を検証するために、近年、世界各地のアウターライズ海域で盛んに構造研究が実施されている。海洋研究開発機構でも、日本列島に沈み込む直前の太平洋プレートにおいて海底地震計と人工震源を用いた大規模な地震構造探査研究を2009年より実施しており、アウターライズ断層の発達に伴い地震波速度が低下するだけでなく、ポアソン比(V_p/V_s 比)が上昇することなどを世界に先駆けて明らかにしてきた。これらの結果は、アウターライズ断層の発達に伴い海洋プレート内に水が浸透しているという解釈と整合的であり、沈み込む直前のプレート折れ曲りが地球内部への水輸送、ひいては地球の進化を解き明かす一つの鍵になっていることを示唆している。

本講演では、海洋研究開発機構が太平洋プレート上で実施してきた地震構造探査研究の成果を中心に、アウターライズにおける構造研究の現状を紹介する。さらに、たとえば水輸送量の定量化や空間不均質性など、地球内部への水輸送史の把握を目指す上で残された課題を議論し、今後進むべき観測研究について提案をしていきたい。

キーワード: 海洋プレート, アウターライズ, 含水化, 地震構造探査, 水輸送, V_p/V_s
Keywords: oceanic plate, outer rise, hydration, seismic survey, water transportation, V_p/V_s

Po/So 波から推定された海洋リソスフェアの起源 Origin of the oceanic lithosphere inferred from Po/So waves

志藤 あずさ^{1*}; 末次 大輔²; 古村 孝志³
SHITO, Azusa^{1*}; SUETSUGU, Daisuke²; FURUMURA, Takashi³

¹ 京都大学地球熱学研究施設, ² 海洋研究開発機構地球深部ダイナミクス研究分野, ³ 東京大学地震研究所
¹Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University, ²Department of Deep Earth Structure and Dynamics Research, JAMSTEC,
³Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

It has long been recognized that the oceanic P and S waves (Po and So waves) have signal with high frequency, large amplitude, and long duration and propagate for large distance up to 3000 km across the ocean. The Po/So waves are developed by multiple forward scattering of P and S waves due to small-scale heterogeneities in the oceanic lithosphere and scattering and capturing of P wave in seawater layer [e.g., Shito et al., 2013; Kennett and Furumura, 2013]. In order to study the origin of the small-scale heterogeneities, the Po/So waves travelling in the Philippine Sea are analyzed.

The Philippine Sea is one of the marginal seas of the Pacific Ocean. It is fundamentally divided into two regions bounded by the Kyushu-Palau Ridge, each is considered to be formed in different episodes of back-arc spreading and that western part (45-60 Ma) is older than eastern part (15-30 Ma) [e.g., Seno and Maruyama, 1984]. The comparison of the Po/So waves propagation in the different ages of the oceanic lithosphere is expected to reveal the origin of the small-scale heterogeneities.

Seismological observations using BBOBSs was conducted in the Philippine Sea from 2005 to 2008 as a part of the Stagnant Slab Project [Fukao et al., 2009], and high-quality Po/So waves from earthquakes in subducting Philippine Sea plate were recorded very clearly. The findings from the observed Po/So waves in the Philippine Sea plate are summarized as follows [Shito et al., 2014]. (1) The Po/So waves propagate even in youngest oceanic lithosphere (15 Ma) near the past spreading center of the Shikoku Basin. (2) The Po/So waves propagate much more effectively in older western part than younger eastern part of the Philippine Sea.

We investigate the mechanism of this propagation efficiency using numerical a Finite Difference Method simulations of 2-D seismic wave propagation. The comparison of the observed and calculated Po/So waves indicates that the age-dependence can be explained by the thickness of the heterogeneous lithosphere. The estimated thicknesses of the oceanic lithosphere are consistent with those obtained by a previous study based on receiver function analysis [Kawakatsu et al., 2009]. The expected depth of the lithosphere asthenosphere boundary corresponds to the top of partial melting region calculated on the basis of the model defined by the water solubility of 1000 parts per million H₂O [Mierdel et al. 2007].

The results suggest that the oceanic lithosphere including the small-scale heterogeneities thicken with age. These small-scale heterogeneities may form continuously in oceanic lithosphere from the time of its formation at a spreading ridge, via the solidification of melts distributed in the asthenosphere.

Keywords: Po/So waves, Philippine Sea Plate, oceanic lithosphere

インド洋中央海嶺の深海性かんらん岩：マンツルの不均質性と海洋プレート形成への影響 Abyssal peridotites from the Central Indian Ridge: Implications for mantle heterogeneity and oceanic plate formation

森下 知晃^{1*}; 仙田 量子²; 曾田 祐介¹; 伊藤 加寿也¹; 中村 謙太郎³; 熊谷 英憲²; 沖野 郷子³; 佐藤 暢⁴
MORISHITA, Tomoaki^{1*}; SENDA, Ryoko²; SODA, Yusuke¹; ITO, Kazuya¹; NAKAMURA, Kentaro³; KUMAGAI, Hidenori²; OKINO, Kyoko³; SATO, Hiroshi⁴

¹ 金沢大学, ² 海洋研究開発機構, ³ 東京大学, ⁴ 専修大学

¹Kanazawa University, ²JAMSTEC, ³University of Tokyo, ⁴Senshu University

中央海嶺は、プレート形成場であり、マンツル物質であるかんらん岩が部分融解してメルトが発生し、メルトの分離-移動-固化によって玄武岩質海洋地殻と溶け残りかんらん岩が形成されていると考えられている。そのため、海洋底で採取される深海性かんらん岩は、中央海嶺下での融解を記録していることを想定した議論が多くなされてきた。しかし、近年の研究成果から、中央海嶺かんらん岩試料の中に、現在の中央海嶺活動以前に融解を経験したことを示唆するものが含まれていることが指摘されている (Brandon et al., 2000; Standish et al., 2002; Harvey et al., 2006; Liu et al., 2008)。マンツルの不均質性を生み出すモデルとして、沈み込んだ海洋地殻物質のマンツルへの再混入モデルは広く受け入れられている (例えば, Hofmann, 1997)。沈み込んだ海洋地殻再混入モデルを受け入れるならば、沈み込んだ過去の溶け残りかんらん岩が混在していることも十分に可能である。

インド洋および南大西洋の海洋底玄武岩類は、他の地域と比較して、玄武岩の同位体比組成が異なることが知られている (例えば, Iwamori & Albarede, 2008; Iwamori et al., 2010)。インド洋中央海嶺からは深海性かんらん岩も多く採取されており (Hellebrand et al., 2002; Seyler et al., 2003; Morishita et al., 2009, 2014; Zhou and Dick, 2013; Yi et al., 2014)。インド洋中央海嶺は北から南に向かい拡大速度が速くなることが知られており (DeMets et al., 2010)、拡大速度と深海性かんらん岩の相関を検討する海域として、ひいては、広域的な海洋マンツルの多様性とその要因に関する研究に適した海域であると考えている。また、インド洋の深海性かんらん岩は、他の海域のものと比較して Os 同位体比が高い傾向にある (仙田ら, 2012)。

海洋研究開発機構の調査船により中央インド洋海嶺最南端領域から深海性かんらん岩が多く採取された。本地域のかんらん岩は、中程度にメルト成分に枯渇し、その後、分化したメルトによる組成改変を受けているという特徴を持つ。最南端部の結果と、インド洋中央海嶺北部から採取されたかんらん岩と比較してみると、拡大速度や、海嶺セグメントの中心部-末端部という関係に関わらず相関が見られず、比較的メルト成分に枯渇したかんらん岩が採取されている。また、最南端部の中央海嶺軸に産する地形的な高まりから採取された試料は、記載岩石学的には斜方輝石が多く (つまりケイ素に富むかんらん岩) であり、Os 同位体組成的には高い特徴を持つことが明らかになってきた。これらの試料は、沈み込む海洋プレートの影響を受けたマンツルウエッジかんらん岩に期待される特徴である。これらを総合して考えると、インド洋中央海嶺は、 Gondwana大陸が分裂した場所に形成された海洋であり、パンジアやGondwana大陸を形成した時 (およびそれ以前の) 履歴を記録したかんらん岩が中央海嶺下に混合している可能性が指摘できる。このようなかんらん岩の中には、中央海嶺下での断熱上昇では玄武岩質の地殻を十分に形成するほどメルトを発生しない場合があり、かんらん岩が海洋底近傍まで上昇する可能性が考えられる。このような場合、引き続き海洋プレートの拡大によって断層の形成、海水の浸透により蛇紋岩化するとことで、海洋底に深海性かんらん岩が露出しやすくなることが起き、マンツルの不均質性が海洋プレートの構成そのものに影響を与えることが予想される。

キーワード: インド洋中央海嶺, 深海性かんらん岩, マンツルの不均質性, 海洋プレートの形成
Keywords: Central Indian Ridge, Abyssal peridotite, Mantle heterogeneity, Formation of Oceanic Plate

四国沖から紀伊水道沖におけるフィリピン海プレートの構造不均質 Heterogeneous structure of the incoming Philippine Sea plate along the southwestern Nankai Trough

仲西 理子^{1*}; 山本 揚二郎¹; 山下 幹也¹; 井和丸 光¹; 藤江 剛¹; 三浦 誠一¹; 小平 秀一¹;
金田 義行¹

NAKANISHI, Ayako^{1*}; YAMAMOTO, Yojiro¹; YAMASHITA, Mikiya¹; IWAMARU, Hikaru¹; FUJIE, Gou¹;
MIURA, Seiichi¹; KODAIRA, Shuichi¹; KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

The next large-thrust earthquake along the Nankai Trough, southwest Japan is concerned to occur within this century. First break of historical large-thrust earthquakes along the Nankai Trough are known to be always located off the Cape Shiono. Non-volcanic deep low-frequency tremors and earthquakes considered as one of indicators of the future large-thrust earthquakes are observed around the down-dip limit of the coseismic rupture zone of the last Tonankai and Nankai earthquakes [Obara, 2002]. However the absence of Nonvolcanic deep low-frequency tremors and earthquakes is recognized between Shikoku Island and Kii Peninsula. One of the causes of these low-frequency seismic phenomena is considered to be fluid generated by dehydration processes from the subducting slab. It is important to investigate structural variation in the incoming Philippine Sea plate, including its fluid content to understand the generation of the low-frequency seismic phenomena as well as large-thrust earthquakes.

In 2014, we conducted the seismic refraction and reflection survey in the northern margin of the Shikoku Basin, where the Philippine Sea plate is subducting beneath the Eurasia plate at the Nankai Trough. We conducted a 360km long seismic profile about 50-60km seaward of the deformation front along the Nankai Trough. 35 OBSs were deployed along the profile with the interval of 10km. A tuned airgun array shot with a total volume of 7800 cu. in. every 200m for OBSs, and 380 cu. in. every 37.5m for a 192-channel, 1.2km-long hydrophone streamer.

In the time-migrated reflection section, variation in the sedimentary layer and basement reflection can be recognized off Shikoku, which may correspond with the boundary of the plate age proposed by magnetic lineation [Okino et al., 1999]. In the southwestern part of the profile, the basement reflection is not always clear, and shows smooth structure. Comparatively in the northeastern part, basement changes in depth drastically with prominent reflection signals. Moreover result of first-arrival tomography based on the wide-angle OBS data shows dramatic change in P-wave velocity just beneath the basement corresponding with the structural boundary observed along the reflection section as mentioned above.

We will show the structural variation of the oceanic crust and the uppermost mantle of the incoming plate, which may be related to the formation of the Shikoku Basin as well as the generation of large-thrust earthquakes and low-frequency events, by using OBS data.

This study is part of 'Research project for compound disaster mitigation on the great earthquakes and tsunamis around the Nankai Trough region' funded by MEXT, Japan.

海底地震観測による日本下のマントルウェッジ構造 Mantle wedge structure of the Japan Sea derived from Ocean Bottom Seismometer observation

中東 和夫^{1*}; 山田 知朗²; 植平 賢司³; 望月 公廣²; 酒井 慎一²; 塩原 肇²; 篠原 雅尚²; 金沢 敏彦³
NAKAHIGASHI, Kazuo^{1*}; YAMADA, Tomoaki²; UEHIRA, Kenji³; MOCHIZUKI, Kimihiro²; SAKAI, Shin'ichi²; SHIOBARA, Hajime²; SHINOHARA, Masanao²; KANAZAWA, Toshihiko³

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 地震研究所, ³ 防災科学技術研究所

¹Kobe Univ., ²ERI, ³NIED

Subducting hydrous oceanic plate carries water by hydrous minerals into the earth and contributes to a melt generation. Aqueous fluid dehydrated from the subducting oceanic plate plays an important role in magma generation. The Japanese Island are located at subduction zones where the Philippine Sea plate subducts from the southeast beneath the Eurasian plate and the Pacific plate descends from the east beneath the PHS and the Eurasian plates. To understand the water circulation and magmatism, a huge number of seismic tomography studies have been conducted in the Japan Island. However, a regional tomography using the land seismic station data could not reveal the deep seismic structure beneath the Japan Sea. The information of the deep mantle wedge structure is important to understand transportation and circulation of water and melt generation in subduction zones. Therefore, we conducted the repeating long-term seismic observations using Long-term ocean bottom seismometer(LT-OBS)s in the central Japan Sea from 2001 to 2004 and from 2013 to 2014. We apply travel-time tomography method to the regional earthquake and teleseismic arrival-data recorded by LT-OBSs and land stations. We obtained the P and S wave tomographic images down to a depth of 300 km beneath the Japan Sea. The tomographic P-wave image has a high velocity anomaly in the mantle wedge extending down to a depth of approximately 150 km beneath the Yamato Basin. In addition, the resulting tomographic image has three low-velocity anomalies in the mantle wedge. First, an inclined low velocity anomaly approximately parallel to the Pacific slab within the mantle wedge is observed in the around 100 km upper part of the Pacific slab. Second, low velocity anomalies are imaged at a depth of 150 km beneath northeastern Japan and 250 km beneath central Japan. Third, a low velocity zone is imaged from just above the subducting Pacific slab at a depth of 300 km. These low velocity anomalies are interpreted to be represented melt production affected by the fluid dehydrated from Pacific slab. The depth of dehydration from subducting slab is consistent with the results of numerical modeling studies. Our observations suggest that deep dehydration from the Pacific slab occurs at a depth of approximately 300 km and the Pacific plate subduction drives a large-scale upwelling flow beneath the Japan Sea.

沈み込み帯におけるスラブの脱水とメルトの形成 Slab dehydration and melt generation in subduction zones

石井 和彦^{1*}
ISHII, Kazuhiko^{1*}

¹ 大阪府立大学大学院理学系研究科
¹ Graduate School of Sciences, Osaka Prefecture University

沈み込み帯で起こる地震・火山活動や変成作用を総合的に理解するために、地球物理学的・岩石学的な実験・観測・解析のほか、それらから得られる多様な情報を相互に関連づける様々な数値モデリングが行われている。沈み込み帯ではスラブやマントルウェッジの脱水・加水・溶融・固結に加え、流体の移動や流体による粘性の変化（部分溶融・加水軟化）など、様々な過程が相互に関連しながら起こるため、各過程を個別にではなく総合的に理解する必要がある。本講演では、昨年の連合大会で紹介した数値モデル（スラブの脱水、マントルウェッジの加水・脱水、マントルウェッジの部分溶融、メルトと H₂O 流体の移動、温度・含水量・部分溶融度に依存したかんらん岩の流動則を考慮）をさらに改良し、分別溶融の効果を含めて計算した結果を報告する。

計算結果には以下のような特徴が認められる。1) マントルウェッジの背弧側からレルゾライトが流入し、火山弧の下でメルトを形成分離したハルツバージャイトがスラブとともに沈み込んでいく。2) メルトの組成や溶融度の分布はかんらん岩の枯渇度とスラブの脱水による水の供給に依存する。

また、スラブ（海洋地殻とスラブマントル）含水量の違いがどのようにメルトの分布に影響するかについても議論する。

キーワード: 沈み込み帯, スラブの脱水, 分別溶融
Keywords: subduction zones, slab dehydration, fractional melting

沈み込みチャネルとマントルウェッジの炭素を含む塩水 Carbon-bearing saline fluids in the subduction channel and mantle wedge

川本 竜彦^{1*}
KAWAMOTO, Tatsuhiko^{1*}

¹ 京都大学理学研究科地球熱学

¹ Inst Geotherm Sci, Grad School Sci, Kyoto Univ

We find C-bearing saline fluids in the subduction channel and mantle wedge. Saline fluids are found with or without methane in jadeitites of serpentinite melanges located in Southwest Japan [Mori, Shigeno, Kawamoto, Nishiyama, in progress]. Carbon dioxide-bearing saline fluid inclusions are also reported from sub-arc mantle peridotite xenoliths: 3.7 wt% NaCl in Ichinomegata lherzolites, Northeast Japan arc [Kumagai et al., 2014] and 5.1 wt% NaCl in Pinatubo harzburgites, Luzon arc [Kawamoto et al., 2013]. These findings indicate that aqueous fluids in the subduction channel and mantle wedge can contain certain amounts of C and Cl.

We suggested that separation of slab-derived supercritical fluids into aqueous fluids and melts plays an important role in elemental transfer from subducting slab to the mantle wedge [Kawamoto et al., 2012]. It is, therefore, important to determine the effect of Cl on the trace element partitioning between aqueous fluids and melts. Synchrotron radiation X-ray fluorescence (XRF) analysis is conducted to know Rb, Sr, and Pb partitioning between aqueous fluids and melts simultaneously at high-temperature and high-pressure conditions. There is a positive correlation between partition coefficients and pressure, as well as salinity [Kawamoto et al., 2014]. Two slab-derived components, melt and fluid components, are suggested to explain trace element characteristics of arc-basalts in the Mariana arc [Pearce et al., 2005]. The fluid component is characterized by enrichment of alkali, alkali earth elements, and Pb. Such features can be explained if the fluid component is a saline fluid, because alkali earth elements and Pb are much less mobile with Cl-free fluids than Cl-rich fluids [Kawamoto et al., 2014].

We suggest that slab-derived components have compositional features consistent with a saline fluid and a melt, which can be formed through a separation of a slab-derived supercritical fluid [Kawamoto et al., 2012, 2014]. Slab-derived supercritical fluids contain Cl, and separated aqueous fluids inherit much of the Cl and some of the large-ion lithophile elements. Dissolution of carbon materials into aqueous fluids is enhanced by the salinity [Newton and Manning 2002] and their species can be controlled by oxygen fugacity.

Reference

Kawamoto T., Kanzaki M., Mibe K., Matsukage K. N., Ono S., 2012, Separation of supercritical slab-fluids to form aqueous fluid and melt components in subduction zone magmatism. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U. S. A.*, 109, 18695-18700.

Kawamoto T., Yoshikawa M., Kumagai Y., Mirabueno M. H. T., Okuno M., Kobayashi T., 2013, Mantle wedge infiltrated with saline fluids from dehydration and decarbonation of subducting slab. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U. S. A.*, 110, 9663-9668.

Kawamoto T., Mibe K., Bureau H., Reguer S., Mocuta C., Kubsy S., Thiaudiere D., Ono S., Kogiso T., 2014, Large ion lithophile elements delivered by saline fluids to the sub-arc mantle, *Earth, Planets and Space*, 66, 61.

Kumagai Y., Kawamoto T., Yamamoto J., 2014, Evolution of carbon dioxide bearing saline fluids in the mantle wedge beneath the Northeast Japan arc, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 168, 1056.

Newton, R.C. and Manning, C.E., 2002, Experimental determination of calcite solubility in H₂O-NaCl solutions at deep crust/upper mantle pressures and temperatures: implications for metasomatic processes in shear zones. *American Mineralogist*, 87, 1401-1409.

Pearce J. A., Stern R. J., Bloomer S. H., Fryer P., 2005, Geochemical mapping of the Mariana arc-basin system: Implications for the nature and distribution of subduction components. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6, Q07006.

キーワード: 水流体, 流体包有物, 島弧マグマ

Keywords: aqueous fluid, fluid inclusion, arc magma

沈み込み帯の水挙動とマグマの生成 Behaviour of subducted water and its role in magma genesis

木村 純一^{1*}; 中島 淳一²

KIMURA, Jun-ichi^{1*}; NAKAJIMA, Junichi²

¹ (独) 海洋研究開発機構, ² 東北大学

¹JAMSTEC, ²Tohoku University

Water at subduction zones is carried to mantle depths by the subducting oceanic plate and then released by dehydration. It then migrates upwards and contributes to melting of the mantle wedge to form primary arc magma. The magma thus captures and transfers water to the crust, or outgasses water to the atmosphere. Water, either in fluids or melts in both the slab and the mantle, promotes the dissolution and mobilization of elements and affects the physical properties of the sub-arc slab, mantle, and seismicity. In this paper, we present a coherent model to explain the geophysical and geochemical role of water beneath NE Japan. We first investigate the seismic structures of the downgoing slab and sub-arc mantle and examine the role of subducted water in forming these structures. We then use the Arc Basalt Simulator version 4, a petrological-geochemical model developed to describe the geochemical behaviours of water and elements in the slab, mantle, and arc basalt. Parameters governing these petrogenetic processes are also estimated by the model and compared to geophysical observations. The combined approach shows that (1) subducted sediment and igneous oceanic crust are almost fully hydrated, whereas only partial hydration occurs in the oceanic mantle; (2) this high slab water content leads to melting of the slab sediment and the uppermost basalt layer beneath the arc; (3) the released water via slab liquid promotes 3?25% melting of the mantle wedge at a depth of 50?30 km at a mantle temperature of 1250?1350 ° C; (4) virtually 89% of slab water is released, 22% of the water returns to the forearc, and 38% enters the arc crust with the magma; and (5) 11% of the subducted water retained beyond a depth of 180 km is held in the slab, and 29% in nominally anhydrous minerals in the wedge mantle.

キーワード: 沈み込み帯, 水, マグマ

Keywords: Subduction zone, Water, Magma

上部マントル深部への水の輸送と含水下でのマントル残留岩 Water carrier in the Earth's deep upper mantle and residues under hydrous condition

松影 香子^{1*}
MATSUKAGE, Kyoko N.^{1*}

¹ 神戸大学地球惑星科学

¹Earth and Planetary Sciences, Kobe University

マントルの大規模な物質移動とそれに伴う化学分化あるいは均質化を担うのは、主にケイ酸塩メルトや水などの流体である。特に地球内部物質の物性やマグマの発生に大きな影響を及ぼす水は、主に火山活動に伴い地球内部から表層に放出される一方、沈み込み帯で含水鉱物となってプレートと共に地球内部へと戻ってゆく。地球内部、特にウェッジマントル深部の物質に対する水の影響を明らかにするため、マルチアンビル型高温高压発生装置を用いた含水カンラン岩、含水玄武岩の相平衡実験を行った。その結果をもとに、(1) 上部マントル深部へ水がどのように運搬保持されるのか、(2) 水がマントル中に流体として放出されたときにマントル物質をどのように変化させるのか、を議論する。地球内部に運ばれる水の多くは、温度上昇と共に脱水し、約 2-4 GPa 以上の圧力では第 2 臨界終端点を越えた超臨界流体としてマントルウェッジに放出される。大部分の水はマントル浅部で脱水して地表に流出してしまうが、その一部はさらに深部のマントル遷移層へと運ばれる。そして、ウォズリアイトの方がカンラン石に比べて水の最大固溶量が高いため、もし遷移層が含水化していればマントル対流等によって遷移層の物質が上部マントルへ上昇した時にウォズリアイトが脱水して水を放出すると考えられる。上部マントル物質に対するこのような水の影響を調べるため、水に飽和した系でのレルゾライトの部分融解実験を圧力 3 – 8 GPa、温度 1100 – 1600 °C の範囲で行った [1]。その結果、含水条件下で形成される残留岩は、無水の場合と比較すると、同じ融解度においてカンラン石に乏しく斜方輝石やザクロ石に富み、Mg# も高くなる事がわかった。また、水を含む事によって部分融解開始温度は地球の平均地温勾配の温度よりも有意に低くなるためウェッジマントルの温度でもカンラン岩は含水部分融解を起こしてそれに伴う組成改変を受けると考えられる。つまり、現在の沈み込み帯近傍の上部マントル深部で Mg# が高く斜方輝石成分 (= SiO₂ 成分) に富んだ“クラトンマントルに類似した”ハルツバーライトが形成されている可能性が高いと考えられる。白亜紀以前においては、3 GPa 以上の非常に深い所からマントル捕獲岩を捉えて上がってくるマグマとしてキンバーライトが存在した。しかし現在ではそのような深部起源のマグマは噴出しておらず、現在の上部マントル深部物質を直接手に入れて記載岩石学的にこの仮説を証明するのはかなり難しい。一方、地震学的研究によって、沈み込み帯や南太平洋、南アフリカの一部地域において深さ 200 – 300 km でなぞの不連続面 (X 不連続面) が観測されており、斜方輝石の高圧相転移によるものではないかという説がある。含水条件下では融け残り側に斜方輝石が多く残存するという実験結果から、この X 不連続面の存在が上部マントル深部での局所的な含水部分融解の状況証拠の一つであると考えられる事も可能である [2]。[1] Matsukage and Kawasaki (2014) Earth, Planets and Space 66, 29. [2] 松影香子 (2015) 地学雑誌、印刷中。

キーワード: 含水融解実験, 高温高压, ウェッジマントル, 斜方輝石, クラトン, X 不連続面

Keywords: Hydrous melting experiments, high-pressure and high-temperature, wedge mantle, orthopyroxene, craton, X discontinuity

背弧海盆下の上部マントル比抵抗構造が示唆する沈み込むスラブからの水放出 Water release from subducting slab inferred by upper mantle electrical resistivity structures beneath back-arc basins

島 伸和^{1*}; 松野 哲男²
SEAMA, Nobukazu^{1*}; MATSUNO, Tetsuo²

¹ 神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻, ² 東京大学地震研究所

¹Department of Planetology, Kobe University, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

We present and compare four 2-D electrical resistivity structures of the upper mantle beneath three back-arc basins; the Lau Basin, the southern Mariana Trough, and the central Mariana Trough. The magnetotelluric (MT) method is a base to estimate upper mantle resistivity structures. The electromagnetic variation data on the ocean bottom were obtained from observations using OBEM (Ocean Bottom Electro-Magnetometer) and OBM (Ocean Bottom Magnetometer). We carried out the time-series data analysis is to estimate the MT responses and corrected topographic distortions in the MT responses. We have basically performed a smooth model inversion analysis using the processed MT responses to estimate a resistivity structure with minimum model smoothness, and also have considered a prior constraint in the inversion analysis for the subducting slab inferred from a seismic research. In the Lau back-arc basin, we obtained 12 months length data by 2 OBEMs and 7-9 months length data by 11 OBMs on the 2 observation lines across eastern Lau spreading center at 19.7 S and 21.3 S; the length of both observation lines are 150 km. It is worth noting that it is the first experiment to use OBSMs (ocean bottom seismograph with magnetometer); that is OBM attached to ocean bottom seismograph. Matsukura (2014) analyzed these data to derive 2-D upper mantle resistivity structures beneath the two observation lines. In the southern Mariana Trough back-arc basin, we carried out an electromagnetic observation along a 120 km length observation line across the spreading axis, and we obtained about 85 days length data by two OBEMs and for about 60 days by six OBEMs. Shindo (2013) reported preliminary results from these data, and we reanalyzed the data to derive a 2-D upper mantle resistivity structure beneath the observation line. We also compared these structures with a 2-D upper mantle resistivity structure beneath the central Mariana subduction system including the central Mariana Trough back-arc basin (Matsuno et al., 2010). All the 2-D upper mantle resistivity structures beneath three back-arc basins indicate that the mantle resistivity directly above the resistive subducting slab start decreasing at a characteristic depth; conductive region of less than 50 ohm-m exists at the deeper region. The depth is 140 km except 60 km for the central Mariana Trough back-arc basin where the subducting slab is so steep that the conductive region has ascended nearly vertically to the shallower depth or that the vertical resolution could not be good enough. This result suggests that the conductive region of less than 50 ohm-m is probably due to water release from the subducting slab and that the water release becomes dominating in the mantle above the slab when the slab reaches 140 km depth.

キーワード: 水, 沈み込むスラブ, 上部マントル比抵抗構造, 背弧海盆

Keywords: water, subducting slab, upper mantle electrical resistivity structure, back-arc basin

ソサエティー・ホットスポットの上部マントル3次元電気伝導度構造 3-D electrical conductivity image of the upper mantle beneath the Society hotspot

多田 訓子^{1*}; Tarits Pascal²; 馬場 聖至³; 笠谷 貴史¹; 末次 大輔¹; 歌田 久司³
TADA, Noriko^{1*}; TARITS, Pascal²; BABA, Kiyoshi³; KASAYA, Takafumi¹; SUETSUGU, Daisuke¹;
UTADA, Hisashi³

¹ 海洋研究開発機構, ²Institut Universitaire Europeen de la Mer, ³ 東京大学地震研究所

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Institut Universitaire Europeen de la Mer, ³Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

The mantle upwellings are one of the most important features for understanding the mantle dynamics. A large-scale mantle upwelling beneath the French Polynesia region in the South Pacific has been suggested from seismic studies, which is called the South Pacific superplume. Nolasco et al. (1998) carried out magnetotelluric (MT) survey around the Society hotspot, which is one of the hotspots in the French Polynesia region, in order to estimate electrical conductivity structure beneath and the vicinity of the Society hotspot in two-dimension. This previous study is not enough to understand the geometry of the hotspot, because the hotspot is tubed like form according to the results from the seismic study. Moreover, Suetsugu et al. (2009) suggested that the slow velocity anomaly continues from the lower mantle to the uppermost upper mantle just beneath the Society hotspot. The geometry, temperature, and composition of the Society hotspot remain controversial, however, due to still insufficient accumulation of the geophysical data.

Then, we carried out the TIARES project that composed of multi-sensor stations that include broadband ocean bottom seismometers, ocean bottom electromagnetometers (OBEMs), and differential pressure gauges from 2009 to 2010. To obtain three-dimensional (3-D) image of the upwelling of the Society hotspot in terms of electrical conductivity, we newly settled eleven OBEMs and obtained MT responses at 20 sites totally. A 3-D marine MT inversion program, which can treat topographic change distorting EM data, was applied to these MT responses to estimate 3-D electrical conductivity image. The result detected a conductive anomaly elongating from the mantle transition zone to the uppermost upper mantle just below the Society hotspot. This feature is consistent with the slow velocity anomaly obtained from the surface wave tomography (Suetsugu et al., 2009). We calculated differences in temperature between the conductive anomaly and the surrounding mantle using conductivity-temperature relationship for dry olivine based on laboratory measurements. The resultant temperature difference is about 400 K at the depth of around 100 km, which is much larger than that estimated from a past seismic study. These results might imply that the effects of partial melt and/or volatiles are necessary in order to explain the high electrical conductivity anomaly beneath the hotspot.

キーワード: ホットスポット, 海底 MT 法, 電気伝導度, 3次元インバージョン解析, フレンチポリネシア

Keywords: hotspot, marine magnetotellurics, electrical conductivity, three-dimensional inversion, the French Polynesia

マントル電気伝導度構造の定量的解釈 Quantitative interpretation of electrical conductivity structure of the mantle

馬場 聖至^{1*}
BABA, Kiyoshi^{1*}

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

マグネトテルリック (MT) 探査に基づくマントルの電気伝導度構造研究では、しばしばマントル中の水の量が議論される。これはマントル構成鉱物の電気伝導度が鉱物中に溶解したごく少量の水に感度があると考えられるからであるが、電気伝導度は、温度や、部分溶融している場合にはメルト量やメルトのつながり具合にも強く依存する。したがって、電気伝導度からのみでは、これらのパラメータの効果を分離することは不可能で、他の独立な情報を用いて解釈することが必要不可欠である。

本公演では、海底 MT データから見積もられた電気伝導度構造の定量的な解釈を目指した、最近の研究を紹介する。鍵となるのは、1) 解釈をする上での作業仮説あるいは検証するモデルを絞ること、2) 温度と部分溶融の関係を矛盾無く組み込むことである。海洋上部マントルの場合、年代に伴うリソスフェアの冷却モデルを検証することは道理的であろう。水深や地殻熱流量の年代に対する変化は、半無限均質媒体あるいは有限の厚さを持つ板を冷却する温度構造モデルでよく説明されているので、電気伝導度構造がそのような温度構造に依存していることは十分考えられる。本研究では、リソスフェア年代、マントルのポテンシャル温度、熱伝導度層の厚さをパラメータとしたプレート冷却温度構造モデルから予測される 1 次元電気伝導度構造について検証する。部分溶融過程は、マントル岩石のソリダス温度と、水や二酸化炭素を含むことによるソリダス温度の降下に関するモデルを適用し、ある温度、水、二酸化炭素の量が与えられたときに、メルトが安定に存在できるか、存在できるとしたらどの程度の量かを検証する。そのうえで、含水オリビンと水と二酸化炭素を溶解したメルトについての電気伝導度測定実験の結果を適用して電気伝導度構造を計算する。さらに電気伝導度構造から MT データを再現し、観測された MT データとの残差を統計的に検定する。この手法により、電気伝導度を支配する複数のパラメータがデータを説明する範囲で取り得る値とパラメータ間のトレードオフ関係を定量的に見積もることが可能である。実データへの適用例として、北西太平洋マントルの解釈について紹介する。

トレードオフ関係を絞り込み、各パラメータをより強く拘束するためには、地震波速度など他の観測データとの同時解釈が必要で有り、これは今後取り組むべき課題である。

キーワード: 海洋上部マントル, マグネトテルリック法, 電気伝導度構造, 水, 部分溶融, 二酸化炭素

Keywords: oceanic upper mantle, magnetotellurics, electrical conductivity structure, H₂O, CO₂, partial melt

海底および島上MTデータに基づく東北日本弧背弧域における比抵抗モデル A resistivity model of the back arc region in the NE Japan arc based on marine and island MT data

市原 寛^{1*}; 多田 訓子¹; 馬場 聖至²; 笠谷 貴史¹; 市來 雅啓³; 海田 俊輝³; 小川 康雄⁴
ICHIHARA, Hiroshi^{1*}; TADA, Noriko¹; BABA, Kiyoshi²; KASAYA, Takafumi¹; ICHIKI, Masahiro³;
KAIDA, Toshiki³; OGAWA, Yasuo⁴

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学地震研究所, ³ 東北大学噴火予知研究観測センター, ⁴ 東京工業大学火山流体研究センター
¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ³Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Tohoku University, ⁴Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

Distribution of physical properties in the back-arc in NE Japan subduction zone have not been understood because the area is mostly located beneath the sea floor. In this study, we estimated electrical resistivity distribution in this area based on electromagnetic data obtained on the seafloor and islands in the eastern part of Japan Sea. The ocean bottom EM data were obtained with 6 ocean bottom electro-magnetometers (OBEMs) between April and August 2013 by MR13-02A and NT13-18 JAMSTEC scientific cruises. The island data were acquired in the 3 islands in the Japan Sea (Tobishima, Awashima and Sado islands) between April and October 2013. These recorded time-series data were converted to a frequency-domain impedance tensor based on the BIRRP program (Chave and Thomson, 2004). As results, high-quality MT responses and geomagnetic tippers in both the trench and back-arc areas. The phase tensor ellipses (Caldwell et al. 2004) indicates high Φ_{max} (>65 degrees) and Φ_{min} (>50 degrees) in the long periods (>8000 seconds) implying conductive zone in the deep area. The ellipses in the short period show strong contrast between western part (Yamato basin) and eastern part of study area, which indicate heterogeneity in crustal structure. Then we also inverted the MT impedances into resistivity distribution based on the 3-D inversion code (Tada et al., 2012) after the correction local topographic effect. The inversion result shows a significant conductor above the subducting Pacific plate. A surface conductor is also estimated beneath the Yamato Basin. These features are consistent to the phase tensors discussed above. The deep conductor may be related to dehydration in subducting Pacific Plate and convection in the mantle wedge. The surface conductor may reflect sediments rocks formed during back-arc opening in Miocene.

キーワード: 東北日本弧, 日本海, 背弧, マグネトテルリクス, 比抵抗構造, 地殻流体
Keywords: NE Japan arc, Japan Sea, Back arc, magnetotellurics, resistivity, Geofluid

小天体表面の含水率: 相互衝突の効果 Water content of small body surfaces: Effects of mutual collisions

中村 昭子^{1*}
NAKAMURA, Akiko^{1*}

¹ 神戸大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kobe University

太陽系小天体は、雪線以遠から地球をはじめとする地球型惑星に水を運んだと考えられる。これら太陽系小天体はその形成と進化の過程において互いに衝突を繰り返した。その結果、小天体表面にはクレーターが穿たれ、あるいは、衝突により飛散した破片が再集積した小惑星イトカワのようなラブルパイル天体が形成され、また、軌道要素の似た小惑星グループである小惑星族が形成された。

水の運搬を担った役割に着目し、太陽系初期から現在に至る小天体の進化を明らかにしようとするとき、無水・含水小天体の現在の軌道分布やサイズ分布が重要な手がかりとなる。天体の表面の水和物や水氷は、可視・赤外スペクトル観測により検知される。

本発表では、小天体表面の含水率と衝突過程の関係について考察する。小天体表面の水和物や水氷はなんらかの過程で失われたとしても内部には残っている可能性がある。表層の水和物・水氷を失わせる過程の候補として、天体表面への衝突による脱水過程が挙げられる。逆に、衝突とは別の脱水過程により表面がドライになったとしても、衝突による浸食により含水物質が表面に表れるかもしれない。一方、衝突は無水の天体に含水天体物質をもたらした可能性もある。

衝突による含水鉱物の脱水率は、試料をカプセルに封入して衝撃を加え、衝撃を加えたあとの試料を分析する回収実験や、含水鉱物から放出されたガスを分析する実験により研究されている (e.g., Sekine et al., 2015)。それらによれば、脱水率は最大衝撃圧だけでなく試料の空隙率による。また、含水炭素質コンドライトへの衝撃圧縮実験では、隕石組織が細かく粉碎されることが観察され、細粒の岩片が水蒸気により含水小惑星から爆発的に放出される可能性が指摘されている (Tomeoka et al., 2003)。我々は、無水と含水の平均衝突速度である 5 km/s 程度に加速した弾丸を衝突させる実験を行った。その結果、密な標的であるかんらん岩と蛇紋岩では、衝突破片の放出パターン (速度場) には違いは見られなかった。焼石膏標的の場合も岩石標的と同様のコーン状の破片放出パターンが見られたのに対し、石膏では水蒸気雲が半球状に拡がるパターンが見られた。脱水と粉碎と破片の放出が、衝突角度と標的の空隙率や含水率によってどのように変化するかはまだわかっていない。

他方、小天体表面に他天体物質が衝突でもたらされることは、探査機 Dawn により小惑星 Vesta 上に炭素質コンドライト物質が見つかったことでも示されている。我々は、岩石や隕石、および多孔質セラミック弾丸を、さまざまな標的に衝突させて、弾丸の破壊の程度や標的への潜りこみ深さを調べる衝突実験を行っている。小天体表面のレゴリスを模した砂標的への衝突では、弾丸岩石物質が砂と混じりあい固化することがわかった。また、空隙を多く含む弾丸の場合は、空隙をつぶすミクロな破壊が卓越することで弾丸全体の破壊に至らずに大きな塊が生き残り、そのためより深くまで潜りこみうることを示した。衝突体に揮発性物質を含む場合についても、プラスチック弾丸の結果にもとづいて議論する。

キーワード: 衝突, 脱水, エジェクタ, 破片, 空隙率, 小天体

Keywords: impact, dehydration, ejecta, fragments, porosity, small bodies

近地球小天体の供給効率と分裂破壊の効果 Transportation of NEOs from their source region and its dependence on collisional disruption

伊藤 孝士^{1*}
ITO, Takashi^{1*}

¹ 自然科学研究機構国立天文台
¹ CfCA, NAOJ, NINS

近地球小天体は太陽系の各所から飛来するが、その力学的起源や供給機構には不明な点が多く残されている。現在の有力な説はメインベルト小惑星帯から共鳴帯に加速されて地球軌道近辺まで降りて来るといふものであり、定性的には正しいと考えられている。しかし定量的にこの説がどこまで正しいかには不定性がある。例えば昨今は近地球小惑星にも分裂破壊した天体グループや族のようなものが見つかっている。このような現象が普遍的であれば、メインベルトから運ばれる天体の数は従来の見積もりよりも少なくても良く、近地球領域で分裂して個数が増したことが考えられる。また、オ尔特雲天体のような超長期彗星が近地球小天体にどの程度寄与しているのかも不明である。本研究ではこうした近地球小天体の起源と進化に関する課題と現状をまとめ、将来の研究の方向性にどのようなものがあるのかを議論する。

キーワード: 近地球小惑星, 衝突破壊
Keywords: near-Earth asteroids, collisional disruption

捕獲されたトロヤ群小惑星の力学進化 Dynamical evolution of captured Trojan asteroids

大槻 圭史^{1*}; 岡山 博明¹
OHTSUKI, Keiji^{1*}; OKAYAMA, Hiroaki¹

¹ 神戸大学

¹ Kobe University

木星のラグランジュ点 L4、L5 近傍にはトロヤ群と呼ばれる小惑星群が存在する。トロヤ群小惑星は、太陽の周りの別の軌道を公転していたものが、太陽系進化のいつかの段階で現在の位置に捕獲されたと考えられる。従って、トロヤ群小惑星は、これらが捕獲された時の、太陽系内の小天体移動の情報を提供しうると考えられる。一方、捕獲過程としては、巨大惑星の軌道移動時に軌道が乱された、太陽系外縁部の氷天体が捕獲されたとするモデルが有力である。このため、トロヤ群小惑星は太陽系外縁部の天体の情報を保持している可能性があり、その起源を明らかにすることにより、巨大惑星の移動に対しても制約を与え得る可能性がある。

トロヤ群小惑星の捕獲に関して、軌道計算を用いた従来の研究では小惑星間の相互重力は無視しており、捕獲される個々の天体の質量については考えられていない。十分大きな天体が捕獲された場合、その天体の重力が他のトロヤ群小惑星に影響を及ぼす可能性がある。その影響を調べることにより、捕獲され得る小惑星の質量に制限を与え得る。

そこで本研究では、他よりも大きな天体（原始小惑星）がトロヤ群領域に捕獲されたとし、その重力が他のトロヤ群小惑星に及ぼす影響を軌道数値計算によって調べた。その結果、原始小惑星の重力作用によってトロヤ群の軌道が不安定となることが確認され、原始小惑星の質量や軌道要素によって不安定となる時間が異なることが確認された。原始小惑星の質量が大きいと、他のトロヤ群小惑星の軌道は短時間で不安定化され、トロヤ群領域から散乱されてしまう。そこで、トロヤ群小惑星が太陽系の年齢の間、安定であるという条件から、原始小惑星の質量に上限が与えられることがわかった。複数の小惑星が重力の影響を及ぼす場合についても調べた。

キーワード: 小惑星, トロヤ群

Keywords: asteroids, Trojan