

平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究終了報告書

◆記入に当たっては、「平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究終了報告書記入要領」を参照してください。

ローマ字	ITO EIJI					
①研究代表者氏名	伊藤 英司			②所属研究機関・部局・職	岡山大学・地球物質科学研究センター・教授	
③研究課題名	和文	下部マントルの起源とダイナミクスに関する実験的研究				
	英文	An experimental study on the origin and dynamics of the Earth's lower mantle				
④研究経費 金額単位：千円	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	総合計
	25,400	17,200	17,200	17,200	0	77,000
⑤研究組織（研究代表者及び研究分担者） *平成18年3月31日現在						
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）			
伊藤 英司	岡山大学地球物質科学研究センター・教授	高圧地球科学	高圧実験、全体企画			
桂 智男	岡山大学地球物質科学研究センター・助教授	鉱物物理学	高圧実験			
米田 明	岡山大学地球物質科学研究センター・助教授	地球弾性論	高圧物の弾性測定、状態方程式			
神崎 正美	岡山大学地球物質科学研究センター・助教授	高圧地球科学	高圧結晶化学			
⑥当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）						
<p>地震波トモグラフィは、スラブの下部マントルへの沈降・回帰の様々な形態とともに、これと相補的に巨大な上昇流がマントル最下部から生じている事を示している。一方、海嶺玄武岩(MORB)と海洋島玄武岩(OIB)の微量元素や同位体比組成の特徴的な違いと地球全体の熱収支から、下部マントルには“地球化学的リザーバー”と呼ばれる液相濃集元素に富み発熱量の大きいしかし高密度な領域が存在し、下降して来るスラブや上昇流と活発な相互作用を続けていると考えられている。いずれにしても下部マントルは大変活発な物質移動によって特徴づけられ、その構成と起源は地球の進化にとって基本的重要性をもつ。</p> <p>本研究は超高压・高温下でのマントル物質の相平衡・溶融実験を中心に下部マントルの構成と起源を明らかにするとともに、構成物質の結晶化学的特徴づけ、状態方程式の決定を行って下部マントルのダイナミクスを研究する。以下のような具体的な課題を実行する。(1) 焼結ダイヤモンドを川井式装置に用いて当面 60GPa 程度までの圧力発生を目指す。(2) ペリドタイトと MORB について相平衡関係の決定を行いそれぞれの構成物質間の密度コントラストを温度・深さの関数として決定して、下部マントルにおけるスラブと上昇流の挙動を検討する。また 最近の太陽系形成標準モデルでは必然とされる地球のマグマオーシャン期の物質分化を解明すべく、(3) ペリドタイト及びコンドライトマントル物質の溶融関係を 50GPa 以上まで決定してマントルの初期分層とリザーバーの起源を検討するとともに、(4) 同様の実験を鉄-けい酸塩系についても行い、中心核の形成とマントルとの相互作用について調べる。</p>						

⑦ 研究成果の概要 (研究目的に対する研究成果を必要に応じて図表等を用いながら、簡潔に記入してください。)

(1) 高压発生技術の革新: 川井式装置に一边14mm、先端切り欠き長さ1.5mmの立方体焼結ダイヤモンド (SD) アンビルを使用して、圧力発生実験を行ってきた。

場観察による室温の圧力校正結果をFig.1に示す。60 GPaまで2%程度の繰り返し精度で圧力発生がなされ、63GPaまでの圧力発生が可能になった。この圧力はダイヤモンドアンビルセル (DAC) 以外では到達されていない。このような実験技術の革新の手始めに、DACを用いた幾つかの研究グループから35 GPa, 1500 K以上の条件で存在が主張されていた、鉄の第5の多形 β 相の探査を行った。44 GPa, 2100KまでのX線その場観察によって、温度の上昇、降下にもなってそれぞれ $\varepsilon \rightarrow \gamma$ 、 $\gamma \rightarrow \varepsilon$ の転移が観測され、 β 相の存在が完全に否定されて $\varepsilon \leftrightarrow \gamma$ 相境界線が確定された。また、GaN, Fe_2O_3 の相平衡関係をそれぞれ62GPa/900K, 58GPa/1400Kまでの条件下で決定するとともに室温での電気抵抗の圧力依存性を調べた。GaNのウルツァイト型 \rightarrow 岩塩型転移は54GPa/300K, 51.5GPa/750Kにおいて観察され相境界線は-170K/Pa程度の負勾配が示唆された。 Fe_2O_3 は圧力の上昇にもなってhematite(I) \rightarrow Rh_2O_3 II型 (II) \rightarrow 斜方晶系の相(III)と相転移することが判明した。I \leftrightarrow II, II \leftrightarrow III転移の相境界線の勾配はいずれも負勾配をとることが明らかになった。GaNの電気抵抗は62GPaまで数10M Ω で相転移に伴った変化は観られなかった。一方、 Fe_2O_3 の電気抵抗は圧力の上昇にもなって、数100 M Ω (0GPa)から数 Ω 以下(58GPa)まで連続的な減少を示す。しかし、54 \pm 1 GPaの圧力巾での変化は約4桁程度と大きく簡便な圧力定点として利用できる。

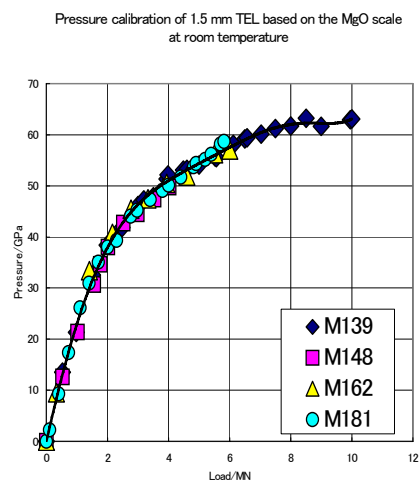


Fig. 1

(2) 660km不連続のポストスピネル転移との対応づけ: $(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}_{0.1})_2\text{SiO}_4$ 組成の物質についてX線その場観察法によってスピネル相(Sp)のペロフスカイト型(Pv)とフェロペリクレス(Fp)への分解がMgOスケールのもと1900K, 23.6GPaで生ずることが正・逆反応を観察することによって確認された。この結果は、ペリドタイトマントルでは660km不連続がこの分解反応に起因するとする従来のクエンチ実験の結論を裏付けるものである。かつて、この分解反応が約2GPaも低い圧力で生ずると報告されセンセーションを巻き起こしたが、今回の結果との不一致の主な原因は用いられたAuスケールが高温下で信頼性に欠ける点にあったと考えられる。

(3) 下部マントルの相平衡: MORB物質の相平衡関係を37 GPaまで調べ、深さ700-800 kmで生ずるガーネットの分解によってMg-Pv, Ca-Pv, スティショバイト, および Al_2O_3 に富む CaFe_2O_4 型の相からなる集合体が少なくとも深さ1000kmまでは安定であることが明らかになった。さらに、この集合体の下部マントルでの密度変化を地震学的密度モデルと比べると、1500-2000kmの深さにMORB成分が沈滞する可能性が示された。ペリドタイトとパイロライトの相平衡実験が、発生圧力の確認と凍結不可能な相の同定を目的としたX線その場観察も含め40 GPa, 2000K以上まで行った。KとAlに富む相が発見されるなど興味深い結果も出ているが、全体的にEPMAによる化学分析に十分な結晶粒成長に至らず、分析電顕による試料の解析を計画中である。

(4) 下部マントル条件下でのマントル物質の溶融実験: ペリドタイトとCIモデルマントルの溶融実験をそれぞれ33GPa, 35GPaまで行った。ペリドタイトでは30GPaまではFpがリキダス相であるが、31GPaではFpとMg-Pvがリキダスで共存し、さらに33GPaではMg-Pvがリキダス相に転換して狭い晶出温度幅でFp, Ca-Pvがこれに続く。28GPa以上ではCIモデルマントルのリキダス相はMg-PvでCa-Pvがこれに続く。このような溶融関係をもとに、マスバランス計算によってマグマオーシャンの中での結晶分別とそれによるマントルの分化を検討した。CIモデルマントルでは40%のMg-Pvと2%のCa-Pvが選択的に沈降してマントル最下部から深さ1400kmに高密度な“ペロフスカイト(Pv)層”が形成される。この層は上層のペリドタイト的物質に比べ高密度であるため地質学的時間を経ても完全な混合から取り残されている可能性がある。この場合には、Ca-Pvが液相に比べて希土類元素やアルカリ元素に富むので、Pv層は未分化な特徴を示し、いわゆる“地球化学的リザーバー”の候補と考えられる。一方、ペリドタイト的なマントルでは、最大10%のペロフスカイト相の分離が期待されるだけで、大きな化学的分化は生じない。

- (5)中心核分離過程の研究：ケイ酸塩（カンラン石）中でのFe-FeS系融体の連結性を両者の混合体の電気伝導度を高温高圧下で測定することによって直接評価した。ケイ酸塩・金属部ともに固体では金属の連結は生じないが、5体積%以上の金属が存在すれば、金属の溶融は直ちにその連結をもたらすことが明らかになった。この結果は、中心核の組成がFe-FeS系で代表されるならば、微惑星の段階ですでに中心核分離が生じていること、また惑星の中心核形成にはマグマオーシャンの直接関与を必要としないことを示す。
- (6)弾性定数の測定： $(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}_{0.1})_2\text{SiO}_4$ （スピネル、Sp）と $\text{MgSiO}_3\text{-Pv}$ の焼結体について“球共振法”によって体積弾性率(Ks)と剛性率(G)とこれらの温度依存性を決定した。Spについては $dKs/dT = -0.0193(9)\text{GPa/K}$, $dG/dT = -0.0148(3)\text{GPa/K}$, またPvについてはそれぞれ $-0.028(3)\text{GPa/K}$, $-0.021(2)\text{GPa/K}$ の結果が得られた。Spの値はカンラン石成分が30-50%存在すれば520km不連続が地震学的に観測可能であることを示し、Pvの値は“ポテンシャル温度”が1500K程度であればパイロライトの下部マントルと調和的であることを示唆する。さらに、Pvの下部マントル条件下における状態方程式を熱力学的に検討して、下部マントルの温度構造と化学組成の間の相関について検討した。
- (7)高密度含水相の合成：約8%の Al_2O_3 を含む含水相PhaseG(D)単結晶が27GPa, 1400°C以上で合成され構造解析がなされた。この結果は含水相PhaseG(D)が“通常”の下部マントルの温度条件下でも存在し得ること、またスラブ物質の脱水などによってPvとの反応から生ずる可能性を示す。
- (8)NMR及びラマン分光方によるマントル物質、含水鉱物の特徴付け： $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{-Sp}$ についてNMR法によってMg, Siの間の秩序度を調べた。1600°C以上で凍結回収した試料についても両者のサイトの交換は認められなかった。サブダクションにともなうマントル深部への水の移送に重要と考えられる $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系の高圧安定含水相、phase egg, $\delta\text{-AlOOH}$, topaz-OHおよび非含水相であるステイショバイト(SiO_2)について多核種NMRとラマン分光法の測定を行った。その結果、phase eggのSi/Al分布は今まで考えられているように完全orderではなく10%のdisorderが確かめられこの相の安定性に大きく寄与していると考えられる。Topaz-OHの新しい相を明らかにするとともに、含水相の構造安定化因子である水素結合の強度を明らかにした。さらに、下部マントルにおける含水相と考えられている、 $\delta\text{-AlOOH}$ とPhaseG(D)についても測定を進めている。
- (9)高温高圧下での熱膨張率測定： $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{-Sp}$ の熱膨張を圧力21GPa近傍、温度300-2000Kで測定し、熱膨張率 $\alpha(\text{K}^{-1}) = 1.2(2) \times 10^{-5} + 7(2) \times 10^{-9}(T-300)$ を得た。この結果とSp相の非弾性率、比熱等の熱力学パラメータを勘案するとマントル遷移層下部の断熱温度勾配は0.3-0.4 K/kmと推定される。
- (10)マントル深部物質の電気伝導度測定：(1)で述べたSDアンビルを装着した川井式装置を用いて下部マントル条件下での鉱物の電気伝導度測定法の開発を進めている。 $(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}_{0.1})\text{-SiO}_3$ イルメナイトについて温度300-1100K、圧力25-35 GPaの測定結果は活性化エネルギー $E_a = 0.84\text{eV}$, 活性化体積 $V_a = -1.5\text{cm}^3/\text{mol}$ の値を与える。
- (11)マントル深部物質の単結晶育成：高圧下での弾性定数測定、放射光を用いたX-線非弾性散乱、元素拡散、熱拡散などの測定には良質の単結晶が必要である。この目的のために川井式装置の試料容積を拡大して、温度、フラックスなどを制御してマントル構成物質の単結晶育成に系統的に取り組んできた。結果の一例として MgSiO_3 ペロフスカイトの結晶をFig.2に示す。最大サイズは1mmを超えている。今後このような結晶を用いて物性測定を進める。



Fig. 2

⑧特記事項 (この研究において得られた独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、当該研究分野及び関連研究分野への影響等、特記すべき事項があれば記入してください。)

「⑦研究成果の概要」で述べた項目のなかで(2)以外はいずれも新たな知見であるが、本研究でとりわけ特記すべき点として以下の点が挙げられる。

- (1) まず、焼結ダイヤモンド(SD)を川井型高压装置に使用することによってこの装置が備えている大試料容積、高い静水圧性という特徴を犠牲にすることなく実験圧力が拡大されたことである。高压地球科学において定められた圧力・温度のもとで物質の状態・反応を明らかにしていくことは必須の前提条件である。DACでは極微量の試料でありながらしばしば大きな圧力と温度の勾配が避けられないのでこの意義は大きい。その顕著な成果は(4)の熔融実験の結果に見てとれる。1980年代からマグマオーシャン仮説が現実味を持って広がって、マントル分化の検証は高压地球科学における大きな課題となり多くの研究者によって取り組まれてきた。しかし、従来からのタングステンカーバイド(WC)アンビルを用いた熔融実験の圧力は26GPaまでに限られ、得られた結果を基にしたマントル初期分化の検討は手詰まり状態にあった。しかし、実験圧力を10GPa上昇させることによって、ペリドタイトもCIモデルマントルも熔融相関係を一変させることが明らかになり、今後この問題を新たに展開して行く可能性が開けた。同様のことが相平衡実験、放射光を用いた状態方程式の研究などにもいえる。
- (2) 球共振法による弾性定数測定は試料サイズの点では超音波法とブリルアン散乱法の間にあるが、精度の点では両者よりも優れている。したがって、狭い温度領域での測定から弾性定数の温度微分係数を正確に決定できる利点を有する。本研究ではロックインアンプを導入し20MHzまで共振ピークを測定できるようにした。ロックインアンプを使用することにより単に検出能が向上するだけでなく、cos成分とsin成分のデータからバックグラウンドノイズを除去できるメリットがある。Mg-Pvの測定を~10MHzで行ったが、高压珪酸塩鉱物の測定例としては世界最高記録である。
- (3) 数mg程度の試料があれば、NMRによって原子番号の近接した元素間の秩序度の測定および含水相のプロトンの配位状態の決定が十分に可能であることが証明された。
- (4) X線その場観察の圧力計測はMgO, Auなど立方晶の物質をマーカーとしてその圧縮から決定される。この際、川井式装置では固体圧縮である以上、偏差応力の影響は避けられない。つまり各指数の面間距離歪に食い違いがありユニークに圧力決定できない場合がある。軸対称応力場を仮定した場合に立方晶系の(111)や(200)の面間距離に対する応力効果が結晶の方位によらないことを見出した。この性質を利用して、差応力とより正確な静水圧力値を決定する手法を開発した。予備的解析では、従来の平均面間歪から求めた圧力値とのズレは最大で2GPaであった。放射光高压地球科学において圧力スケールにたいする差応力効果の吟味は重要と認識されていたが、今回の解析法は本問題の“定量的”議論を可能にするものである。
- (5) マントル深部物質(β -Mg₂SiO₄, MgSiO₃ペロフスカイト, SiO₂スティショバイトなど)のmmサイズの単結晶育成の技術が確立されてきた。今後さらに改良を進め、“巨大結晶”を用いたさまざまな物性測定を行う。

- ⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

論文

- Ito, E., Katsura, T., Aizawa, Y., Kawabe, K., Yokoshi, S., Kubo, A., Nozawa, A. and Funakoshi, K., High-pressure generation in the Kawai-type apparatus equipped with sintered diamond anvils: application to the wurtzite-rocksalt transformation in GaN, In: Chen, J., Wang, Y., Duffy, T. S., Shen, G., and Dobrhinetskaya, L. F. (eds.) *Advances in High-Pressure Technology for Geophysical Application*, Elsevier B. V., pp. 451-460, 2005.
- Ito, E., Kubo, A., Katsura, T. and Walter, M. J., Melting experiments of mantle materials under lower mantle conditions with implication for magma ocean differentiation, *Phys. Earth Planet. Int.*, **143-144**, 397-406, 2004.
- Aizawa, Y., Yoneda, A., Katsura, T., Ito, E., Saito, T., Suzuki, I., Temperature derivatives of elastic moduli of MgSiO₃ perovskite, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, **31**, L01602, doi:10.1029/2003GL018762, 2004.
- Xue, X., Kanzaki, M., Neuville, D.R. and Kawamoto, T., Structure and properties of silicate melts and fluids, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **68**, 5011-5012, 2004.
- Xue, X., and Kanzaki, M., Dissolution mechanisms of water in depolymerized silicate melts: Constraints from ¹H and ²⁹Si NMR spectroscopy and ab initio calculations, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **68**, 5027-5057, 2004.
- Tsujimura, T., Xue, X., Kanzaki, M. and Walter, M. J., Sulfur speciation and network structural changes in sodium silicate glasses: Constraints from NMR and Raman spectroscopy, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **68**, 5081-5101, 2004.
- Mayama, N., Suzuki, I., Saito, T., Ohono, I., Katsura, T., Yoneda, A. :Temperature dependence of elastic moduli of β-(Mg, Fe)₂SiO₄, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L04612, 10.1029/2003GL019247, 2004.
- Osako, M., Ito, E., Yoneda, A. :Simultaneous measurements of thermal conductivity and thermal diffusivity for garnet and olivine under high pressure, *Phys. Earth Planet. Int.*, **143-144**, 311-320, 2004.
- Mibe, K., Kanzaki, M., Kawamoto, T., Matsukage, K.N., Fei, Y. and Ono, S., Determination of the second critical end point in silicate-H₂O systems using high-pressure and high-temperature X-ray radiography, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **68**, 5189-5195, 2004.
- Katsura, T., Yamada, H., Kubo, A., Shinmei, T., Nishikawa, O., Yoshino, T., Aizawa, Y., Song M.-s., Walter, M. J., Ito, E. and Funakoshi, K., Olivine-wadsleyite transition in the system (Mg,Fe)₂SiO₄, *Journal of Geophysical Research* **109**, B02209, 10.1029/2003JB002438, 2004.
- Fuji-ta, K., Katsura, T. and Tainosho, Y., Electrical conductivity measurement of granulite sample under lower crustal pressure-temperature conditions, *Geophysical Journal International*, **157**, 79-86, 2004.
- Katsura, T., Funakoshi, K., Kubo, A., Nishiyama, N., Tange, Y., Sueda, Y., Kubo, T. and Utsumi, W., A large-volume high P-T apparatus for in situ X-ray observation 'SPEED-mkII', *Physics of Earth Planetary Interiors*, **143-144**, 497-506, 2004.
- Urakawa, S., Someya, K., Terasaki, H., Katsura, T., Yokoshi, S., Funakoshi, K., Utsumi, W., Katayama, Y., Sueda, Y. and Irifune, T., Phase relationships and equations of state for FeS at high pressures and temperatures and implications for the internal structure of Mars, *Physics of Earth Planetary Interiors*, **143-144**, 469-479, 2004.
- Yoshino, T., Walter, M. J. and Katsura, T., Connectivity of molten Fe alloy in peridotite based on in situ electrical conductivity measurements: implications for core formation in terrestrial planets, *Earth and Planetary Science Letters*, **222**, 625-643, 2004.
- Ono, S., Funakoshi, K., Nakajima, Y., Tange, Y., and Katsura, T., Phase transition of zircon at high P-T conditions, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **147**, 505-509, 2004.
- Matsui, M. and Katsura, T., The temperature-pressure-volume equation of state of γ-Mg₂SiO₄, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **99**, 72-75, 2004.
- Katsura, T., Yokoshi, S., Song M.-S., Kawabe, K., Tsujimura T., Kubo A., Ito, E., Tange Y. Tomioka, N., Keiko, S. and Funakoshi, K., Thermal expansion of Mg₂SiO₄ ringwoodite at high pressures, *Journal of Geophysical Research*, **109**, B12209, doi:10.1029/2004JB003094, 2004.
- Kubo, A., Ito, E., Katsura, T., Shinmei, T., Yamada, H., Nishikawa, O., Song, M. and Funakoshi, K., In situ X-ray observation of iron using Kawai-type apparatus equipped with sintered diamond: absence of beta phase up to 44 GPa and 2100 K, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 10.1029/2002GL016394, 2003.
- Yoshino, T., Walter, M. J. and Katsura, T., Core formation in planetesimals triggered by permeable flow, *Nature*, **422**, 154-157, 2003.

⑨研究成果の発表状況(続き) (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

- Yoshiasa, A., Murai, Y., Ohtaka O. and Katsura, T., Detailed structures of hexagonal diamond (lonsdaleite) and wurtzite type BN, *Jpn J Appl. Phys.* **42**, 1694-1704, 2003
- Katsura, T., Yamada, H., Shinmei, T., Kubo, A., Ono, S., Kanzaki, M., Yoneda, A., Walter, M. J., Urakawa, S., Ito, E., Funakoshi, K. and Utsumi, W., Post-spinel transition in Mg_2SiO_4 determined by *in situ* X-ray diffractometry, *Phys. Earth Planet. Int.*, **136**, 11-24, 2003.
- Yoneda, A., Song, M., Simultaneous measurement of ultrasonic velocity and attenuation loss: A new analyzing algorithm in frequency domain, *GEOCHIMICA ET COSMOCHIMICA ACTA*, **67** (18): A569-A569 Suppl. **1** SEP 2003.
- Nishiyama, N., Katsura, T., Funakoshi, K., Kubo, A., Tange, Y., Sueda, Y., Kubo, T., Precise determination of the phase boundary between B1 and B2 phases in NaCl by *in situ* X-ray diffraction experiments, *Physical Review B*, **68**, 134109, 2003.
- Sinogeikin, S. V., Bass, J. D. and Katsura, T., Single-crystal elasticity of ringwoodite to high pressures and high temperatures: implications for 520 km seismic discontinuity, *phys. Earth Planet. Int.*, **136**, 41-66, 2003.
- 三部賢治, 神崎正美, 川本竜彦, 松影香子, 費英偉, 高温高压X線ラジオグラフィ法による玄武岩-H₂O系の臨界状態に関する研究, *地学雑誌*, **112**, 991, 2003.
- Akaogi, M., Tanaka, A. and Ito, E., Garnet-ilmenite-perovskite transitions in the system $Mg_4Si_4O_{12}$ - $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$ at high pressures and high temperatures: phase equilibria, calorimetry and implications for mantle structure, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **132**, 303-324, 2002.
- Tomioka, N., Fujino, K., Ito, E., Katsura, T. and Kato, T., Microstructures and structural phase transition in (Mg,Fe)SiO₃ majorite, *Eur. J. Mineral.*, **14**, 7-14, 2002.
- Walter, M. J., Katsura, T., Shinmei, T., Kubo, A., Nishikawa, O. Ito, E., Leshner, C. and Funakoshi, K., Spinel-garnet lherzolite transition in the system CMAS revised: an *in situ* X-ray study, *Geochem. Cosmochem. Acta*, **66**, 2109-2121, 2002.
- Katsura, T., Thermal diffusivity of forsterite at high pressures and high temperatures, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **97**, 238-240, 2002.
- Presnall, D., Gudfinnsson, G., and Walter, M. J., generation of mid-ocean ridge basalt near the plagioclase to spinel transition. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, **66**, 2073-2090, 2002.
- Yoneda, A. Intrinsic eigenvibration frequency in the resonant ultrasound spectroscopy: Evidences for a coupling vibration between a sample and transducers, *Earth, Planets and Space*, **54**, 763-770, 2002.
- Sumita, T. and Yoneda, A., A new thermal-analysis technique for detecting silicate melting under high pressure: Application to pyrope melting up to 9 GPa, *High Temp.-High Press*, **34**, 473-481, 2002.
- Reynard, B., Kubo, A., Akaogi, M., Raman spectra of ilmenite-type phases on the $Mg_4Si_4O_{12}$ - $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$ join. *Eur. J. Mineral.*, **14**, 745-747, 2002.
- Tanaka, I., Oba, F., Sekine, T., Ito, E., Kubo, A., Tatsumi, K., Adachi, H., Yamamoto, T., Hardness of cubic silicon nitride. *J. Mat. Res.* **17**, 731-733, 2002.
- Sato, K. and Katsura, T., Experimental investigation on dolomite dissociation into aragonite + magnesite up to 8.5 GPa, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **184**, 529-534, 2001.
- Furuichi, H., Ito, E., Kanno, Y., Watanabe, W., Katsura, T. and Fujii, N., Amorphous copper formation and related phenomena at ultrahigh pressure, *J. Non-Crystal. Solid*, **279**, 215-218, 2001.
- Ono, S., Katsura, T., Ito, E., Kanzaki, M., Yoneda, A., Walter, M. J., Urakawa, S., Utsumi, W. and Funakoshi, K., *In situ* observation of ilmenite-perovskite phase transition in $MgSiO_3$ using synchrotron radiation, *Geophys. Res., Lett.*, **28**, 835-838, 2001.
- Sato, K. and Katsura, T., Sulfer: a new solvent-catalyst for diamond synthesis under high pressure and high temperature conditions, *J. Crystal Growth*, **223**, 189-194, 2001.
- Katsura, T., Mayama, N., Shouno, K., Sakai, M., Yoneda, A. and Suzuki, I., Temperature derivatives of elastic moduli of modified spinel, *Phys. Earth Planet. Int.*, **124**, 163-166, 2001.
- Ono, S., Ito, E. and Katsura, T., Mineralogy of subducted basaltic crust (MORB) from 25 to 37 GPa, and chemical heterogeneity of the lower mantle, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **190**, 57-63, 2001.
- Sinogeikin, S. V., Bass, J. D. and Katsura, T., Single-crystal elasticity of γ -(Mg,Fe)₂SiO₄ at high pressures and temperatures: implications for the 520 km discontinuity, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 4335-4338, 2001.
- Xue, X. and Kanzaki, M., An *ab initio* calculation of the 17O and 1H NMR parameters for various OH groups: Implications to the speciation and dynamics of dissolved water in silicate glasses, *J. Phys. Chem. B*, **105**, 3422-3434, 2001.
- Sekine, T., Tansho, M. and Kanzaki, M., 29Si magic-angle-spinning nuclear-magnetic resonance study of spinel-type Si₃N₄, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 3050-3051, 2001.

⑨研究成果の発表状況(続き) (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

国際会議

- Ito, E., Katsura, T., Aizawa, Y., Kawabe, K., Yokoshi, S., Kubo, A., Nozawa, A., Funakoshi, K., Ultrahigh pressure generation in the Kawai-type apparatus : Application to the wurzite-rocksalt transition in GaN, MISASA COE-21 International Symposium *Origin, Evolution and Dynamics of the Earth –Present and Future Research-*, 2005, Misasa(Japan).
- Xue, X., Kanzaki, M., Shatskiy, A., Ito, E., Katsura, T., Water in Silicate Melts and Mantle Minerals: Information from ^1H and ^{29}Si NMR Spectroscopy, MISASA COE-21 International Symposium *Origin, Evolution and Dynamics of the Earth –Present and Future Research-*, 2005, Misasa(Japan).
- Yokoshi, S., Katsura, T., Ito, E., Kawabe, K., Okube, M., Pressure dependence of electrical conductivity of $(\text{Mg}_{0.93}\text{Fe}_{0.07})\text{SiO}_3$ ilmenite and perovskite determined by a multi-anvil apparatus with sintered diamond anvils, MISASA COE-21 International Symposium *Origin, Evolution and Dynamics of the Earth –Present and Future Research-*, 2005, Misasa(Japan).
- Okube, M., Ito, E., Yoshiasa, A., Matsumoto, T., Search for the rare gas reservoir in the earth's interior(I), MISASA COE-21 International Symposium *Origin, Evolution and Dynamics of the Earth –Present and Future Research-*, 2005, Misasa(Japan).
- Ito, E., Kubo, A., Katsura, T., M. J. Walter, Melting experiments of silicates under mantle conditions, *6th High Pressure Mineral Physics Seminar*, 2002, Verbania(Italy).
- Kubo, A., Ito, E., Katsura, T., Shinmei, T., Yamada, H., Nishikawa, O., Song, M., Funakoshi, K., Phase equilibrium study of iron using sintered diamond(SD) anvils: absence of beta phase, *6th High Pressure Mineral Physics Seminar*, 2002, Verbania(Italy).
- Osako, M., Ito, E., Yoneda, A., Thermal diffusivities and thermal conductivities of mantle minerals under high pressures, *6th High Pressure Mineral Physics Seminar*, 2002, Verbania(Italy).
- Katsura, T., Walter, W. J., Yamada, H., Shinmei, T., Kubo, A., Ono, S., Kanzaki, M., Yoneda, A., Ito, E., Urakawa, S., Funakoshi, K. and Utsumi, W., Post-Spinel Transition in Mg_2SiO_4 Determined by High P-T in situ X-ray Diffractometry, *V. M. Goldschmidt Conference*, 2001, Virginia(USA).
- Ito, E., Recent developments in high pressure mineral physics experiments using sintered anvils, *International Conference on Transport of materials in the dynamic Earth*, 2001, Kurayoshi(Japan).

その他多数

学会

- 伊藤英司, 超高压実験による地球内部探査, 日本材料学会第53期通常総会・学術講演会, 2004年, 岡山.
- 伊藤英司, 川井式プレスを用いた物質開発, 日本高圧力科学技術セミナーシリーズ(29)「高圧技術を用いたスクッテルダイト化合物の合成と物性」, 2004年, 室蘭.
- 伊藤英司, 桂智男, 相澤義高, 川辺和幸, 余越祥, 久保敦, 野沢暁史, 舟越賢一, 川井式装置による高圧力発生と圧力定点の開発, 第45回高圧討論会, 2004年, 草津.
- 大迫正弘, 伊藤英司, 米田明, 高圧下でのマントル構成物質の熱定数測定, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2004年, 千葉.
- 伊藤英司, 学会賞受賞記念講演「川井式装置による地球内部探査」, 第44回高圧討論会, 2003年, 横浜.
- 伊藤英司, 久保敦, 桂智男, Micheal J. Walter, マントル物質の下部マントル条件での融解, 第44回高圧討論会, 2003年, 横浜.
- 大迫正弘, 伊藤英司, 米田明, 高圧下でのマントル構成物質の熱定数測定, 第44回高圧討論会, 2003年, 横浜.
- 久保敦, 伊藤英司, 桂智男, Micheal J. Walter, Melting of Mantle Materials under Lower Mantle Conditions and Fractionation in Magma Ocean, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2003年, 千葉.
- 伊藤英司, 焼結ダイヤモンドの川井式装置への応用, 第43回高圧討論会, 2002年, 松山.
- 大迫正弘, 伊藤英司, 米田明, 地球深部構成物質の熱伝導に対する圧力効果とマントル内での推定値, 第43回高圧討論会, 2002年, 松山.
- 久保敦, 伊藤英司, 桂智男, 新名亨, 山田均, 西川治, 宋茂双, 舟越賢一, 焼結ダイヤモンドを用いた川井式装置による鉄ベータ相の探査, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2002年, 東京.
- 大迫正弘, 伊藤英司, 米田明, マントル物質の熱拡散率・熱伝導率の圧力効果と上部マントル内での推定値, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2002年, 東京.
- 久保敦, 伊藤英司, 桂智男, 山田均, 西川治, 宋茂双, 新名亨, 舟越賢一, 焼結ダイヤモンドアンビルによる鉄 β 相の探査その2, 第42回高圧討論会, 2001年, 神戸.
- 大迫正弘, 伊藤英司, 米田明, 主要マントル物質の熱伝導度の圧力効果と上部マントル内の熱輸送, 第42回高圧討論会, 2001年, 神戸.
- 伊藤英司, 久保敦, 桂智男, Micheal J. Walter, 下部マントル物質の溶融実験, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2001年, 東京.

その他多数

特許等

「単結晶合成方法及び装置」、発明者：桂 智男、出願番号 特願2005-053082、平成17年2月28日出願、出願中。