

理学博士秋本俊一君及び川井直人君の「超高压・高温下
における地球物質の実験的研究」に対する授賞審査要旨

秋本俊一君は東京大学物性研究所において、川井直人君は大阪大学基礎工学部において表記の研究を行なっている。ほぼ同じ方向に向かって、並行して地球科学のおよび結晶化学的、物性論的に重要な先駆的実験を行ない、幾多の貴重な結果を得た。この種の超高压・高温下における物質の研究は世界でも比較的新しく、日本においてはもっぱら両君によって開発され推進された。そして十数年にわたる両君の努力によって、今ではこの研究分野では世界最高の中心の一つとなり、指導的役割を演ずるにさえたっている。その業績は誠に顕著である。

両君の研究を大別すれば、次の四つにすることができる。

- 一、超高压・高温発生装置の開発（秋本・川井）
 - 二、超高压・高温実験の結果を地球科学へ応用（主として秋本）
 - 三、超高压下の結晶化学、超高压・高温下における新物質の研究（秋本・川井）
 - 四、超高压下における金属酸化物の金属化等、新現象の観測（主として川井）
- 一、超高压・高温発生装置の開発

従来の静水圧方式によって達せられる圧力はせいぜい七万気圧であるが、両君の開発したものは二〇万気圧以上

に達する。温度は二、〇〇〇度に達する。そしてこの状態を数時間も持続させることができる。これは、実際の地球では、四〇〇〜六〇〇キロメートルの深さに相当する。両君の装置に共通な点は、液体による圧力伝達をやめ、試料を軟弱な半固体（例えば葉蠟石）で包み、これを正四面体、正八面体などの各面から、一様におしつけるというところにある。この場合に、各面が歩調をそろえて徐動するようにする等、試料に静水圧に近いものを与えるというところに困難がある。卓抜な考案によってこれを克服しえたことが技術的に重要な点であり、世界最高といわれる所以である。加圧面の数を増すことは望ましいが、同時に技術的困難も激増する。現在では二十面体、さらには球面加圧も計画されている。

なおこのような超高压を較正する尺度が必要であるが、*coesite-silovite* の相転移曲線を定めた秋本君の結果は、その標準として世界各国において目下使われている。

二、超高压・高温実験の結果を地球科学へ応用

地球はA (〇—三三km)・B (三三—四〇〇km)・C (四〇〇—一、〇〇〇km)・D (一、〇〇〇—一、九〇〇km)の如き球殻構造をもって二、九〇〇km以深の核Eを包んでいる。そして、各殻の境界において密度、地震波の速度、電気伝導度、あるいはその勾配が急変しているという事実がある。A B、D Eの不連続は、物質の相異によるものとされているが、B C間の急変がいかなる原因によるものであるかは永らく論議の対象であった。両君はこの辺の主要構成物質と考えられる Mg_2SiO_4 、 Fe_2SiO_4 系について、超高压・高温下においてオリビン型—スピネル型の相転移が起こることを確定し、その平衡図を実験的に定めた。スピネル型の珪酸塩は、地上岩石中には存在しない。超高压・高

温下においてこれを合成したことは、最も重大であり、両君が一九六三年ほとんど同時に発表した。そしてこのオリビン型—スピネル型の相転移は、ちょうど地球の深さ四〇〇km、すなわちBC不連続に相当する条件のところで見られるのである。これはこの不連続に関する永年の論議に対してほとんど確定的な解釈を下したものである。かつまたこのような深さにおける温度を確定したこともなり、地球科学に対する一大貢献である。

この研究に関連して重大なことが秋本君によってはじめて実験的に確立された。それは超高压・高温下における Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4 等のオリビン型(α)—スピネル型(γ)の相転移において、ある圧力、ある温度の下で「変型スピネル型(β)」なるものがあらわれるということである。ある程度の高圧になると、 α — γ の相転移は直接には行なわれず、この変型スピネル β を経由することになる。そして α — β — γ 間の相転移平衡曲線が定められた。これは地球マントルの状態を考察する上に、極めて重大な要素となるものである。

以上のような相転移については、地上の岩石には存在しないものを合成し、その転移の圧力、温度を確定したというところだけでなく、転移両相の物質について、密度、弾性波速度、電気伝導度等を測定し、実際の地球の常数と比較することによって、球殻構造をなす地球物質に関する知識を大いに進めたのである。

三、超高压下の結晶化学、超高压・高温下における新物質の研究

両君の実験室では、前記のほか、地球科学的に重要でこれまで知られていなかった新物質が多く作られ、また諸鉱物のこれまで知られていなかった生成条件が明らかにされた。そしてそれらのものについて、岩石学的意義、結晶化学的意義が一一くわしく論ぜられた。

例えば

FeSiO_3 , CoSiO_3 , MnSiO_3 , ZnSiO_3 等の合成

MnTiO_3 , MnSiO_3 のイルメナイト型—コランダム型の相転移

Mg_2SiO_4 , Co_2SiO_4 , Zn_2SiO_4 , Mn_2GeO_4 等の変型スピネル

V^{4+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} 等を含む異常原子価化合物

六方晶系パロプスカイト類似化合物

MgSiO_3 が Mg_2SiO_4 と SiO_2 とに分解

等である。

四、超高压下における金属酸化物の金属化等、新現象の観測

なお超高压・高温の下において起こる幾多の興味ある実験的事実が報告された。すなわち、 Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 などの金属酸化物は常圧において電気良導体ではないが、超高压の下で、良導体になる。 NiO は常圧において絶縁体であるが、超高压下では良導体になる。いわゆる金属化現象である。これらの観測結果の解明は未だ完全とはいえないが、物性論的に興味ある現象が続々報告され、確定しつつあるのは、目覚ましい。なお川井君が超高压によって密度約六、〇、屈折率二、〇二のシリカガラスを作ったことも、特筆に値する。

一、主要な論文および著書目録

〔秋 本 俊 一〕

1. S. Akimoto, H. Fujisawa and T. Katsura: Synthesis of FeSiO_3 pyroxene (ferrosilite) at high pressures. Proc. Japan Acad., **40**, 272-275 (1964).
2. S. Akimoto and H. Fujisawa: Demonstration of the electrical conductivity jump produced by the olivine-spinel transition. J. Geophys. Res., **70**, 443-449 (1965).
3. S. Akimoto, H. Fujisawa and T. Katsura: The olivine-spinel transition in Fe_2SiO_4 and Ni_2SiO_4 . J. Geophys. Res., **70**, 1969-1977 (1965).
4. S. Akimoto, T. Katsura, Y. Syono, H. Fujisawa and E. Komada: Polymorphic transition of pyroxenes FeSiO_3 and CoSiO_3 at high pressures and temperatures. J. Geophys. Res., **70**, 5269-5278 (1965).
5. F. Sugawara, S. Iida, Y. Syono and S. Akimoto: New magnetic perovskites BiMnO_3 and BiCrO_3 . J. Phys. Soc. Japan, **20**, 1529 (1965).
6. S. Akimoto and H. Fujisawa: Olivine-spinel transition in the system Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4 at 800°C. Earth Planet. Sci. Letters, **1**, 237-240 (1966).
7. S. Akimoto and Y. Ida: High-pressure synthesis of Mg_2SiO_4 spinel. Earth Planet. Sci. Letters, **1**, 358-359 (1966).
8. A. Sawaoka, S. Miyahara, S. Akimoto and H. Fujisawa: Magnetic properties of manganese germanate and titanate. J. Phys. Soc. Japan, **21**, 185 (1966).
9. S. Akimoto, E. Komada and I. Kushiro: Preliminary experiments on the stability of natural pigeonite and enstatite. Proc. Japan Acad., **42**, 482-487 (1966).
10. S. Akimoto, E. Komada and I. Kushiro: Effect of pressure on the melting of olivine and spinel polymorph of Fe_2SiO_4 . J. Geophys. Res., **72**, 679-686 (1967).
11. S. Akimoto and Y. Syono: Decomposition of some titanate spinels. J. Chem. Phys., **47**, 1813-1817 (1967).
12. Y. Ida, Y. Syono and S. Akimoto: Effect of pressure on the lattice parameters of stishovite. Earth

- Planet. Sci. Letters, **3**, 216-218 (1967).
13. T. Katsura, B. Iwasaki, S. Kimura and S. Akimoto: High-pressure synthesis of the stoichiometric compound FeO. *J. Chem. Phys.*, **47**, 4559-4560 (1967).
 14. I. Kushiro, Y. Syono and S. Akimoto: Stability of phlogopite at high pressures and possible presence of phlogopite in the earth's upper mantle. *Earth Planet. Sci. Letters*, **3**, 197-203 (1967).
 15. I. Kushiro, Y. Syono and S. Akimoto: Effect of pressure on garnet-pyroxene equilibrium in the system Mg_2SiO_3 - $CaSiO_3$ - Al_2O_3 . *Earth Planet. Sci. Letters*, **2**, 460-464 (1967).
 16. S. Akimoto and H. Fujisawa: Olivine-spinel solid solution equilibria in the system Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4 . *J. Geophys. Res.*, **73**, 1467-1479 (1968).
 17. S. Akimoto and Y. Sato: High-pressure transformation in Co_2SiO_4 olivine and some geophysical implications. *Phys. Earth Planet. Interiors*, **1**, 498-504 (1968).
 18. H. Fujisawa, N. Fujii, H. Mizutani, H. Kanamori and S. Akimoto: Thermal diffusivity of Mg_2SiO_4 , Fe_2SiO_4 and NaCl at high pressures and temperatures. *J. Geophys. Res.*, **73**, 4727-4733 (1968).
 19. I. Kushiro, Y. Syono and S. Akimoto: Melting of a peridotite nodule at high pressures and high water pressures. *J. Geophys. Res.*, **73**, 6023-6029 (1968).
 20. Y. Matsui, Y. Syono, S. Akimoto and K. Kitayama: Unit cell dimensions of some synthetic orthopyroxene group solid solutions. *Geochemical J.* **2**, 61-70 (1968).
 21. A. Sawaka, S. Miyahara and S. Akimoto: Magnetic properties of several metasilicates and metagermanates with pyroxene structure. *J. Phys. Soc. Japan*, **25**, 1253-1257 (1968).
 22. F. Sugawara, Y. Syono, and S. Akimoto: High-pressure synthesis of a new perovskite $PbSnO_3$. *Material Res. Bull.*, **3**, 529-532 (1968).
 23. Y. Syono and S. Akimoto: High pressure synthesis of a fluorite-type PbO_2 . *Mat. Res. Bull.*, **3**, 153-158

- (1968).
24. S. Akimoto and Y. Syono: Coesite-stishovite transition. *J. Geophys. Res.*, **74**, 1653-1659 (1969).
 25. H.K. Mao, T. Takahashi, W.A. Bassett, J.S. Weaver and S. Akimoto: Effect of pressure and temperature on the molar volume of wüstite and three (Fe, Mg)₂SiO₄ spinel solid solutions. *J. Geophys. Res.*, **74**, 1061-1069 (1969).
 26. N. Morimoto, S. Akimoto, K. Koto and M. Tokonami: Modified spinel, betamanganous orthogermanate: Stability and crystal structure. *Science*, **165**, 586-588 (1969).
 27. Y. Syono, S. Akimoto, Y. Ishikawa and Y. Endoh: A new pressure phase of MnTiO₃ and its magnetic property. *J. Phys. Chem. Solids*, **30**, 1665-1672 (1969).
 28. Y. Syono, S. Akimoto and K. Kohn: Structure relations of hexagonal perovskite-like compounds ABX₃ at high pressure. *J. Phys. Soc. Japan*, **26**, 993-999 (1969).
 29. Y. Syono, H. Sawamoto and S. Akimoto: Disordered ilmenite MnSnO₃ and its magnetic property. *Solid State Commun.*, **7**, 713-716 (1969).
 30. S. Akimoto: High-pressure synthesis of a "modified" spinel and some geophysical implications. *Phys. Earth Planet. Interiors*, **3**, 189-195 (1970).
 31. S. Akimoto and Y. Syono: High-pressure decomposition of the system FeSiO₃-MgSiO₃. *Phys. Earth Planet. Interiors*, **3**, 186-188 (1970).
 32. S. Akimoto, M. Nishikawa, Y. Nakamura, I. Kushiro and T. Katsura: Melting experiments of lunar crystalline rocks. *Proc. Apollo 11 Lunar Science Conference*, Vol. 1, 129-133 (1970).
 33. I. Kushiro, Y. Nakamura, H. Haramura and S. Akimoto: Crystallization of some lunar mafic magmas and generation of rhyolitic liquid. *Science*, **167**, 610-612 (1970).
 34. H. Mizutani, Y. Hamano, Y. Ida and S. Akimoto: Compressional wave velocities of fayalite, Fe₂SiO₄

- spinel and coesite. *J. Geophys. Res.*, **75**, 2741-2747 (1970).
35. Y. Shimizu, Y. Syono and S. Akimoto: High-pressure transformations in SrGeO_3 , SrSiO_3 , BaGeO_3 and BaSiO_3 . *High Temperature-High Pressures*, **2**, 113-120 (1970).
 36. Y. Syono, S. Akimoto and K. Kohn: Structure relations of hexagonal perovskite-like compounds ABX_3 at high pressure and their magnetic properties. *Colloques Internationaux du CNRS*, No. 188, *Les Propriétés Physiques des Solides sous Pression*, 415-421 (1970).
 37. N. Morimoto, S. Akimoto, K. Koto and M. Tokonami: Crystal structures of high pressure modifications of Mg_2GeO_4 and Co_2SiO_4 . *Phys. Earth Planet. Interiors*, **3**, 161-165 (1970).
 38. M. Nishikawa and S. Akimoto: Bridgman anvil with an internal heating system for phase transformation studies. *High Temperatures-High Pressures*, **3**, 161-176 (1971).
 39. Y. Syono, S. Akimoto and Y. Endoh: High pressure synthesis of ilmenite and perovskite type MnVO_3 and their magnetic properties. *J. Phys. Chem. Solids*, **32**, 243-249 (1971).
 40. Y. Syono, S. Akimoto and Y. Matsui: High pressure transformations in zinc silicates. *J. Solid State Chem.*, **3**, 369-380 (1971).
 41. N. Shimizu and S. Akimoto: Partitioning of strontium between clinopyroxene and liquid at high pressures: Preliminary experiments. *Earth Planet. Sci. Letters*, **13**, 134-138 (1971).
 42. I. Kushiro, Y. Nakamura, K. Kitayama and S. Akimoto: Petrology of some Apollo 12 crystalline rocks. *Proc. 2nd Lunar Science Conference*, Vol. 1, 481-495 (1971).
 43. S. Akimoto: The system MgO-FeO-SiO_2 at high pressures and temperatures—phase equilibria and elastic properties. *Tectonophysics*, **13**, (1-4), 161-187 (1972).
 44. S. Akimoto and Y. Syono: High pressure transformations in MnSiO_3 . *American Mineralogist*, **57**, 76-84 (1972).

45. H. Mizutani, Y. Hamano and S. Akimoto: Elastic-wave velocities of polycrystalline stishovite. *J. Geophys. Res.*, in press (1972).

- 一、秋本俊一、超高压下における珪酸塩鈦物の相転移——マンツルの構造の探究——、科学、三三、五一九—五二六（昭和三七）
- 二、秋本俊一、「テトラヘドラルアンビル型超高压発生装置」と物性研究、金属物理、一〇、一六七—一七三（昭和三九）
- 三、秋本俊一、最近の高温高压実験と地球科学、物性、五、一三七—一四六（昭和三九）
- 四、秋本俊一、高温高压下の珪酸塩鈦物の相転移とマンツルの構造、地質学雑誌、七一、五九五—六〇五（昭和四〇）
- 五、超高压、極端条件技術—物理測定技術、七、一四八—一八八（昭和四〇）
- 六、秋本俊一、上部マンツルの相転移と超高压高温実験、科学、三八、二九〇—二九八（昭和四三）
- 七、庄野安彦・秋本俊一、高压実験技術Ⅱ、準静水圧実験（固体圧縮）、日本物理学会誌、二三、四一—五〇（昭和四三）
- 八、秋本俊一、高压スケールと地球科学、科学、三九、二四四—二四六（昭和四四）
- 九、森本信男・秋本俊一、高压下の新物質と固体地球科学——「変型スピネル」構造の発見——、科学、三九、一三二—一三七（昭和四四）
- 一〇、秋本俊一、月の岩石、固体物理、五、一七五—一八〇（昭和四五）
- 一一、秋本俊一、月面物質の物理的性質、化学と工業、二三、八四二—八四九（昭和四五）
- 一二、秋本俊一、高压下の圧力校正、高压力、九巻三号、四四—四八（昭和四六）
- 一三、秋本俊一、物質の高压相、日本金属学会会報、一〇巻六号、三六四—三七二（昭和四六）
- 一四、秋本俊一、高压下の育成、結晶工学ハンドブック、七九五—一八〇五頁、共立出版（昭和四六）

- 一五' 水谷仁・秋本俊一' 下部マントルの鉱物の地震波速度——スチートン・マントルを中心として——科学 四二' 一五六
一五八 (昭和四七)
- 一六' 秋本俊一' カンラン石の高圧相と地球内部構造、物性 一三 (印刷中) (昭和四七)
- 〔川井直人〕
1. Naoto Kawai: A static high pressure apparatus with tapering multi-pistons forming a sphere. Proc. Japan Acad., **42**, 385 (1966).
 2. Naoto Kawai, Shoichi Endoh, and Shoji Sakata: Synthesis of Mg_2SiO_4 with spinel structure. Proc. Japan Acad., **42**, 626 (1966).
 3. Naoto Kawai and Fumihisa Ono: Effect of hydrostatic pressure on the Morin transition point of α -hematite crystal. Phys. Letters, **21**, 279 (1966).
 4. Akira Sawaoka and Naoto Kawai: Change of the magnetic anisotropy constant K_1 of magnetite (Fe_3O_4) under hydrostatic pressure. Phys. Letters, **24A**, 503 (1967).
 5. Naoto Kawai and Akira Sawaoka: Change of the magnetic anisotropy constant K_1 of nickel under hydrostatic pressure. Phys. Letters, **24A**, 639 (1967).
 6. Naoto Kawai, Masahiko Sakakihara, Akihiro Morizumi, and Akira Sawaoka: Effect of pressure on the magnetic transition temperature and electrical resistance anomaly in four heavy rare earth metals. J. Phys. Soc. Japan, **23**, 475 (1967).
 7. Naoto Kawai, Akira Sawaoka, and Gentaro Kaji: Magnetic properties of manganese phosphide under hydrostatic pressure. J. Phys. Soc. Japan, **23**, 896 (1967).
 8. Naoto Kawai, Akira Sawaoka, Saburo Kikuchi, and Nobuaki Tamagawa: Reduction of CrO_3 into CrO_2 and Cr_2O_3 under very high pressure and high temperature. Japanese J. Appl. Phys., **6**, 1397 (1967).
 9. Naoto Kawai and Yukio Inokuti: Low temperature melting of solids under very high pressure and the

- cores of the planets. Earth and Planetary Science Letters, **3**, 490 (1967).
10. Akira Sawaoaka, Naoto Kawai, and Saburo Kikuchi: Change of the magnetic anisotropy constant K_1 of manganese ferrite and manganese zinc ferrite under hydrostatic pressure. Physica Status Solidi, **24**, 83 (1967).
 11. Naoto Kawai and Akira Sawaoaka: Magnetic measurements under hydrostatic pressure: Intensity of magnetization and anisotropy. Rev. Sci. Instr., **38**, 1770 (1967).
 12. Naoto Kawai and Akira Sawaoaka: Effect of hydrostatic pressure on the magnetocrystalline anisotropy of iron and nickel. J. Phys. Chem. Solids, **29**, 575 (1968).
 13. Naoto Kawai, Fumihisa Ono, and Kimio Hirooka: A new explanation for the magnetic memory of α - Fe_2O_3 on the basis of a negative pressure effect on the Morin transition point. J. Appl. Phys., **39**, 712 (1968).
 14. Keisuke Ito, Takashi Matsumoto, and Naoto Kawai: Experimental study of a kimberlite at pressures between 42 and 88 kilobars. J. Geosci., Osaka City Univ., **2**, 1 (1968).
 15. Naoto Kawai and Yukio Inokuti: Low temperature melting of elements under high pressure and its progression in the periodic table. Japanese J. Appl. Phys., **7**, 989 (1968).
 16. Robert S. Carmichael, Akira Sawaoaka, and Naoto Kawai: A multipurpose high pressure microbomb. Japanese J. Appl. Phys., **7**, 1120 (1968).
 17. Akira Sawaoaka and Naoto Kawai: Ferrous and ferric ions in ferrites with spinel structure. J. Phys. Soc. Japan, **25**, 133 (1968).
 18. Naoto Kawai: Equipment for generating pressures up to 800 kilobars. NBS Special Publication, **326**, 45 (Accurate characterization of the high-pressure environment, Lloyd ed., 1971).
 19. Naoto Kawai et al.: Fixed points near room temperature. NBS Special Publication, **326**, 45 (Accurate

- characterization of the high-pressure environment, Lloyd ed., 1971).
20. Naoto Kawai and Yukio Inokuti: Jupiter's conductive molten core of moderate temperature. *J. Phys. Soc. Japan*, **27**, 1686 (1969).
 21. Naoto Kawai and Yukio Inokuti: High pressure melting of general compounds, and with some physical models. *Japanese J. Appl. Phys.*, **9**, 31 (1970).
 22. Naoto Kawai, Shoichi Endoh, and Keisuke Itoh: Split sphere high pressure vessel and phase equilibrium relation in the system Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4 . *Phys. Earth Planet. Interiors*, **3**, 182 (1970).
 23. R. Hasegawa, Y. Tanabe, M. Kobayashi, H. Tadokoro, A. Sawacka, and N. Kawai: Structural studies of pressure-crystallized polymers: Heat treatment of oriented polymers under high pressure. *J. Polymer Sci., A-2*, **8**, 1073 (1970).
 24. Akira Sawacka and Naoto Kawai: Pressure transmission media at low temperature in clamped type high pressure bomb. *Japanese J. Appl. Phys.*, **9**, 353 (1970).
 25. Naoto Kawai and Shoichi Endoh: The generation of ultrahigh hydrostatic pressures by a split sphere apparatus. *Rev. Sci. Instr.*, **41**, 1178 (1970).
 26. Naoto Kawai, Sho-suke Mochizuki, and Hisamori Fujita: Densification of vitreous silica under static high pressures higher than 2 Mlb. *Phys. Letters*, **34A**, 107 (1971).
 27. Y. Nakamura, M. Hayase, M. Shigam, Y. Miyamoto, and N. Kawai: Magnetic properties of $Fe_{65}(Ni_{1-x}Mn_x)_{35}$ alloys under hydrostatic pressure. *J. Phys. Soc. Japan*, **30**, 720 (1971).
 28. Naoto Kawai and Sho-suke Mochizuki: Metallic states in the three 3d transition metal oxides, Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , and TiO_2 under static high pressures. *Phys. Letters*, **36A**, 54 (1971).
 29. Naoto Kawai and Sho-suke Mochizuki: Insulator-metal transition in NiO , Solid State Commun., to be published.

30. Eiji Ito, Takashi Matsumoto, Kaichi Suito, and Naoto Kawai: High pressure break-down of enstatite. Proc. Japan Acad., **48**, 412 (1972).