

理学博士久城育夫君の「造岩物質の実験岩石学的研究（特に

これによるマグマ論への寄与）」に対する授賞審査要旨

久城育夫君は、火成岩の生成、殊にマグマの発生および固結に関する問題の解明をめざして、高温高压等の諸条件下における造岩物質の実験岩石学的研究を行いつつあるが、過去約二〇年間にわたり、すでに数多くの重要な意義をもつ成果を得ている（主要公表論文七四篇）。

以下久城君の研究業績を、便宜上 (A) ~ (F) の六項目に分け、その概要について述べる。

(A) マグマの発生に関する研究

(1) $\text{CaMg}_2\text{Si}_2\text{O}_7\text{-Mg}_2\text{SiO}_4\text{-SiO}_2$, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{-NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2$, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7\text{-SiO}_2$ の諸系における相平衡を、一気圧および高压下、無水条件下で決定し、高压下ではカンラン石の晶出領域が輝石のそれに対して縮小すること、従って、カンラン岩の部分熔融によって得られる液は、圧力の高いほど SiO_2 に乏しくなることを示した。次に、「マントル上部」に由来する天然のカンラン岩を高压下で部分熔融させ、生じた液の組成を決定し、約 1500°C 以下では「ソレライト質ゲンブ岩マグマ」、それ以上の圧力では「アルカリ・ゲンブ岩マグマ」が生成することを明らかにした。

(2) エンスタタイト (MgSiO_3) の融解（一気圧では分解熔融）に対する圧力の影響に関し、無水の場合では、分解熔融が数 Kb で止む（それ以上の圧力では非分解）のに、水の存在下では、少なくとも 30 Kb まで持続すること

を見出した (H. S. Yoder, 西川正巳と共同)。また、(1)に挙げた諸系に H_2O を加えた場合には、高圧下におけるカンラン石の晶出領域が無水の場合に比べて増大することを見出した。これにより、「上部マントル」の部分熔融に当って、水の存在下では、無水の場合に比べて SiO_2 に富むマグマが発生すべきことを推定し、天然のカンラン岩を水の存在下で部分熔融させ、生じた液の組成を決定することによって、これを確認した。これらの実験結果は、 SiO_2 に飽和した「ソレアイト質ゲンブ岩マグマ」や「カルク・アルカリ・アンゼン岩マグマ」の少なくとも或るものが、「マントル上部」において水の存在下で発生したことの可能性を示す。また、高圧下において、カンラン岩の部分熔融および塩基性マグマの結晶作用によって生ずるマグマの組成が、水の存在によっていかに影響されるかについて、解析を行った。これは、「マントル上部」および「地殻下部」における含水マグマの発生を理解するための有用な拠点を供するものである。

次に Mg_2SiO_4 - $CaAl_2Si_2O_7$ - $NaAlSi_3O_8$ - SiO_2 - H_2O 系についての実験、その他から、約 15 kb までの圧力下では、「マントル上部」のカンラン岩は、水の存在下における部分熔融によって、比較的 Mg に富むアンゼン岩質マグマを生じ得ることが明らかになった。

(B) マグマの構造および物性に関する研究

(1) 久城君は MgO - SiO_2 を含む種々の化学系において Mg_2SiO_4 の液相面と $MgSiO_3$ の液相面との境界の位置について吟味し、次の規則性を発見した——(a) MgO - SiO_2 に一価の元素の酸化物 (K_2O , Na_2O など) を加える、前者は後者に対して拡大する。(b) 三価または四価の元素の酸化物 (Cr_2O_3 , TiO_2 など) を加えると、逆に前者は後

者に対して縮小する。(c) 二価の元素の酸化物を加えると、中間の効果を示す。久城君は、以上の事実を、加えた酸化物が液の構造における —Si—O—Si— の結合(重合度)に及ぼす影響によるとして説明した。前項(A)で述べた H_2O の影響も同様に説明できることを示した。さらに、これにもとづいて CO_2 の影響についても予想を与えたところ、それが *Reuber* (一九七四年) によって、実証された。また、このような影響にもとづいて珪酸塩メルトの構造を探究する新しい道が開かれた。

(2) マグマ論では、高温高圧下における珪酸塩メルトの粘性や密度についての知識が肝要である。久城君は、10kbar 以上の圧力でこれらを測定する方法を開発し(一九七六年)、それを用いて実測を行った。その結果、(a) 多くの珪酸塩メルトの粘性係数は、一定温度で圧力の上昇によって減少することが知られた。これはメルトの構造が圧力によって変化するためとして説明される。(b) 天然のゲンブ岩およびアンザン岩のメルトについても、圧力の上昇に伴って粘性の減少することが知られた。(c) ゲンブ岩やアンザン岩の熔融温度に沿って粘性係数を測定したところ、熔融温度の上昇と圧力の上昇との効果が相伴うため、粘性係数の減少は一層著しくなることが知られた。

珪酸塩メルトの密度は、圧力を加えると上昇するが、その上昇率は結晶のそれよりも大きいことが明らかになった。これによると、ゲンブ岩質マグマの密度は、常圧では斜長石のそれよりも小さいが、高圧では斜長石のそれよりも大きくなり、従って、「地殻上部」では斜長石はゲンブ岩質マグマ中で沈降し、「地殻下部」では浮上することになる。これにより、斜長石の或るものについて、新しい成因的解釈が与えられた。

(C) ゲンブ岩——エクロジヤイト転移および造岩鉱物の安定領域に関する研究

(1) 実験により、 $8\sim 9\text{ kbar}$ で「灰長石+フォルステライト \leftrightarrow 輝石+スピネル」の反応、さらに高圧で「輝石+スピネル \leftrightarrow ザクロ石+フォルステライト」の反応が見出し (H. S. Yoder と共同)、「カンラン石ハンレイ岩や含斜長石カンラン岩の生成は、地下浅所 (大陸地域では「地殻内」、海洋地域では「マントル上部」または「地殻内」) に限られること」、「ザクロ石カンラン岩はスピネル・カンラン岩よりも高圧下で安定であること」を示した。

次に「灰長石+エンスタタイト \leftrightarrow ザクロ石+輝石+石英」の反応曲線を決定し、「同組成のザクロ石の生成は、石英の存在下では、石英不在下よりも、高圧で行われること」を示した。また、「透輝石+曹長石 \leftrightarrow オンファサイト+石英」および「透輝石+灰長石 \leftrightarrow アルミナ質クリノ輝石+石英」の反応実験から、オンファサイト中のヒスイ輝石分およびアルミナ質クリノ輝石中の Al 分と温度・圧力との関係を決定した。

(2) 実験により「オケルマナイトは 15 kbar 以上、モンチセライトは 10 kbar 以上では、安定でないこと」を示し (一部 H. S. Yoder と共同)、また、珪灰石・偽珪灰石間の転移曲線を決定した。

(3) 実験により、フログバイトは、 $1,000^\circ\text{C}$ では少なくとも 5 kbar まで安定であることを示した (秋本俊一、庄野安彦と共同)。また、カンラン岩中での角閃石の安定存在は、「マントル上部」の条件下では深さ数十料までに限られることを示した。これに関連し、天然のカンラン岩を水の過剰に存在する条件下で加熱し、 $20\sim 50\text{ kbar}$ の圧力下では、約 $1,000^\circ\text{C}$ で熔融し始めることを見出した (庄野安彦、秋本俊一と共同)。この結果と地下深部の温度分布とから「上部マントル」の低速層の成立と、水の存在との関連を考察した。

(F) その他の関連研究

(1) 山形県温海^{あつみ}地方のドレライトの研究から「アルカリ・ドレライト」と「高アルミナ・ドレライト」との分化経路を追跡した。

(2) 火成岩の組成とその中の単斜輝石の Si, Al, Ti の量との関係にもとづいて、後者における Si, Al の量を支配する最大要因は、マグマ中の SiO_2 の濃度であることを示した。

(3) 高圧生成の輝石における Al の量に対する温度および圧力の影響を理論的に研究し、アルミナ質輝石の生成条件を考察した。

(4) マグマの発生に関し、「ソレライト質ゲンブ岩マグマ」は比較的低压で、「アルカリ・ゲンブ岩マグマ」は比較的高圧で生成することを推論した（久野久と共同）。

(5) 確実に制御された高温高圧条件下で、輝石と液との間における希土類元素の分配係数を決定した（増田彰正と共同）。

以上の一連の研究は、マグマ論に寄与し、その今後の進展に資するところが多大であると認められる。

一、主要論文目録（〔〕内は共著者名）

(A)

[J. F. Schairer] New data on the system diopside-forsterite-silica. Carnegie Inst. Year Book, 62, 95-103, 1963.

The system diopside-forsterite-silica at 20 kilobars. *ibid.*, 63, 101-108, 1964.

- The liquidus relations in the system forsterite-CaAl₂SiO₆-silica and forsterite-nepheline-silica at high pressures. *ibid.*, 64, 103-109, 1965.
- Compositions of magmas formed by partial zone melting of the earth's upper mantle. *J. Geophys. Res.*, 73, 619-634, 1968.
- [H. S. Yoder, M. Nishikawa] Effect of water on the melting of enstatite. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 79, 1635-1692, 1968.
- The system forsterite-diopside-silica with and without water at high pressures. *Am. J. Sci.*, 267-A, 269-294, 1969.
- Discussion of the paper 'The origin of basaltic and nephelinitic magmas in the earth's mantle' by D. H. Green. *Tectonophysics*, 7, 427-436, 1969.
- [H. S. Yoder] Melting of forsterite and enstatite at high pressures under hydrous conditions. *Carnegie Inst. Year Book*, 67, 153-158, 1969.
- Systems bearing on melting of the upper mantle under hydrous conditions. *ibid.*, 68, 240-245, 1970.
- Effect of water on the composition of magmas formed at high pressures. *J. Petr.*, 13, 311-334, 1972.
- [N. Shimizu, Y. Nakamura, S. Akimoto] Compositions of coexisting liquid and solid phases formed upon melting of natural garnet and spinel hercynites at high pressures: Preliminary report. *Earth Planet. Sci. Letters*, 14, 19-25, 1972.
- Partial melting of synthetic and natural peridotites at high pressures. *Carnegie Inst. Year Book*, 71, 357-362, 1972.
- [R. N. Thompson] Origin of some abyssal tholeiites from the Mid-Atlantic Ridge. *ibid.*, 71, 403-406, 1972.

- [H. S. Yoder] Origin of calc-alkalic peraluminous andesite and dacites. *ibid.*, 71, 411-412, 1972.
- Origin of some magmas in oceanic and circum-oceanic regions. *Tectonophysics*, 17, 211-222, 1973.
- Partial melting of garnet lherzolite in kimberlite at high pressures. Kimberlites of the Northern Lesotho Province, 1973.
- Experimental investigations on the origin of basalt and andesite magmas. *Volcanisme et Phénomènes Associés*, Assoc. Geol. Sud-Ouest France, 401-414, 1974.
- Melting of hydrous upper mantle and possible generation of andesitic magmas: An approach from synthetic systems. *Earth Planet. Sci. Letters*, 22, 294-299, 1974.
- [H. Sato] Origin of some calc-alkalic andesites in the Japanese Islands. *Bull. Volc.*, 41-4, 576-585, 1978.

(B)

- Regularities in the shift of liquidus boundaries in silicate systems and their significance in magma genesis: Regularities in the shift of the liquidus boundaries involving olivine, pyroxene and silica minerals. *Am. J. Sci.*, 275, 411-431, 1975.
- Changes in viscosity and structure of melt of $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ composition at high pressures. *J. Geophys. Res.*, 81, 6347-6350, 1976.
- [H. S. Yoder, B. O. Mysen] Viscosities of basalt and andesite melts at high pressures. *ibid.*, 81, 6351-6356, 1976.
- Phase transformation in silicate melts under upper mantle conditions. *in High-Pressure Research Applications in Geophysics*, New York, London, 25-37, 1977.
- [T. Fujii] Flootation of plagioclase in magma at high pressures and its bearing on the origin of

- anorthosite. Proc. Japan Acad., **53B**, 262-266, 1977.
- [T. Fujii] Density, viscosity and compressibility of basaltic liquid at high pressures. Carnegie Inst. Year Book, **76**, 419-424, 1977.
- Viscosity and structural changes of albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) melt at high pressures. Earth Planet. Sci. Letters, **41**, 87-90, 1978.
- [B. Veldel] Structure of sodium aluminosilicate melts quenched at high pressure; infrared and aluminum K-radiation data. *ibid.*, **40**, 137-140, 1978.
- Fractional crystallization of basaltic magma. in The Evolution of the Igneous Rocks: A Fiftieth Anniversary Appraisal, Princeton Univ. Press, 171-203, 1979.
- Viscosity, density and structure of silicate melts at high pressures and their petrological applications. in Physics of Magmatic Processes, Princeton Univ. Press, 93-120, 1980.
- [D. Virgo, B. O. Mysen] The anionic constitution of igneous melts at 1 atm: a Raman spectroscopic study. Science, **208**, 1371-1373, 1980.
- (C)
- [H. S. Yoder] Breakdown of monticellite and akermanite at high pressures. Carnegie Inst. Year Book, **63**, 81-83, 1964.
- Wollastonite-pseudowollastonite inversion. *ibid.*, **63**, 83-84, 1964.
- Stability field of akermanite. *ibid.*, **63**, 84-86, 1964.
- The join akermanite-soda melilite at 20 kilobars. *ibid.*, **63**, 90-92, 1964.
- [H. S. Yoder] Experimental studies on the basalt-eclogite transformation. *ibid.*, **63**, 108-114, 1964.
- [H. S. Yoder] The reactions between forsterite and anorthite at high pressures. *ibid.*, **64**, 89-94, 1965.

- Coexistence of nepheline and enstatite at high pressures. *ibid.*, 64, 109-112, 1965.
- Clinopyroxene solid solutions at high pressures. *ibid.*, 64, 112-117, 1965.
- [H. S. Yoder] Anorthite-forsterite and anorthite-enstatite reactions and their bearing on the basaltic eclogite transformation. *J. Petr.*, 7, 337-362, 1966.
- [Y. Syono, S. Akimoto] Effect of pressure on garnet-pyroxene equilibrium in the system $MgSiO_3$ - $CaSiO_3$ - Al_2O_3 . *Earth Planet. Sci. Letters*, 2, 460-464, 1967.
- ヲトルに於ける H_2O の問題。火山 11, 116-126, 1966.
- [Y. Syono, 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.
- [Y. Syono, S. Akimoto] Melting of a peridotite nodule at high pressures and high water pressures. *J. Geophys. Res.*, 73, 6023-6029, 1968.
- [K. Aoki] Origin of some eclogite inclusions in kimberlite. *Am. Miner.*, 53, 1347-1367, 1968.
- [H. S. Yoder] Melting of a hydrous phase: Phlogopite. *Am. J. Sci.*, 267-A, 558-582, 1969.
- Clinopyroxene solid solutions formed by reactions between diopside and plagioclase at high pressures. *Miner. Soc. Am., Special Paper No. 2*, 179-191, 1969.
- State of H_2O in the upper mantle. *Problems of Petrology and Genetic Mineralogy*, Sobolev Volume, Nauk, Moscow, 21-28, 1969.
- Stability of omphacite in the presence of excess silica. *Carnegie Inst. Year Book*, 67, 98-100, 1969.
- [J. F. Schairer] Diopside solid solutions in the system diopside-anorthite-albite at 1 atm and at high pressures. *ibid.*, 68, 222-226, 1970.
- [A. J. Erlank] Stability of potassic richterite. *ibid.*, 68, 231-233, 1970.

Stability of amphibole and phlogopite in the upper mantle. *ibid.*, 68, 245-247, 1970.

(D)

Synthesis and stability of iron-free pigeonite in the system $MgSiO_3$ - $CaMgSi_2O_6$ at high pressures. Carnegie Inst. Year Book, 67, 80-83, 1969.

[Y. Nakamura] Compositional relations of coexisting orthopyroxene, pigeonite and augite in a tholeiitic andesite from Hakone volcano. *Contrib. Miner. Petr.*, 26, 265-275, 1970.

[H. S. Yoder] Stability field of iron-free pigeonite in the system $MgSiO_3$ - $CaMgSi_2O_6$. Carnegie Inst. Year Book, 68, 226-229, 1970.

[Y. Nakamura] Equilibrium relations of hypersthene, pigeonite and augite in crystallizing magmas: Micro-probe study of a pigeonite andesite from Weiselberg, Germany. *Am. Miner.*, 55, 1999-2015, 1970.

Determination of liquidus relations in synthetic silicate systems with electron probe analysis:

The system forsterite-diopside-silica at 1 atmosphere. *ibid.*, 57, 1260-1271, 1972.

[S. Akimoto, E. Komada] Preliminary experiments on the stability of natural pigeonite and enstatite. *Proc. Japan Acad.*, 42, 482-487, 1966.

(E)

[Y. Nakamura, H. Haramura, S. Akimoto] Crystallization of some lunar mafic magmas and generation of rhyolitic liquid. *Science*, 167, 610-612, 1970.

[Y. Nakamura] Petrology of some lunar crystalline rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Suppl. 1, Proc. Apollo 11 Lunar Sci. Conf., Vol. 1, 607-626, 1970.

- [H. Haramura, Y. Nakamura] Composition of lunar fines. *ibid.*, 539-540, 1970.
- [H. Haramura] Major element variation and possible source materials of Apollo 12 crystalline rocks. *Science*, 171, 1235-1237, 1971.
- [Y. Nakamura, S. Akimoto] Petrological and mineralogical studies on Apollo 12 crystalline rocks: A preliminary report. *Miner. Soc. Japan, Special Paper* 1, 13-17, 1971.
- [Y. Nakamura, K. Kitayama, S. Akimoto] Petrology of some Apollo 12 crystalline rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta, Suppl.* 2, Proc. Apollo 12 Lunar Sci. Conf., MIT Press, Vol. 1, 481-495, 1971.
- [Y. Ikeda, Y. Nakamura] Petrology of Lunar high-alumina basalt. *Geochim. Cosmochim. Acta, Suppl.* 3, Proc. Third Lunar Sci. Conf., MIT Press, Vol. 1, 115-130, 1972.
- Petrology of some Apollo 15 mare basalts. The Apollo 15 Lunar Samples, Lunar Sci. Inst., Houston, 128-130, 1972.
- Melting experiments on Apollo 14 high-alumina basalt. *Carnegie Inst. Year Book*, 71, 472-474, 1972.
- (F)
- Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks. *Am. J. Sci.*, 258, 548-554, 1960.
- A possible origin of tholeiitic magma. *Jap. J. Geol. Geogr.*, 32, 31-37, 1961.
- Clinopyroxene solid solutions. Pt. 1. The CaAl₂SiO₆ component. *ibid.*, 33, 213-220, 1962.
- [H. Kunz] Origin of primary basalt magma and classification of basaltic rocks. *J. Petr.*, 4, 75-89, 1963.
- Petrology of the Atsumi dolerite, Japan. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II*, 15, Pt. 2, 135-202, 1964.
- [K. Aoki] Some clinopyroxenes from ultramafic inclusions in Dreiser Weiher, Eifel. *Contr. Miner.*

Petr., 18, 326-337, 1968.

[A. Masuda] Experimental determination of partition coefficients of ten rare earth elements and barium between clinopyroxene and liquid in the synthetic silicate system at 20 kilobar pressure. Contrib. Miner. Petr., 26, 42-49, 1970.