資 料

沸石の鉱物学に関する最近の文献

原 田 一 雄 (Kazuo Harada)*

Some recent studies on zeolite mineralogy

1 は じ め に

Deer, *et al.* (1963) の *Rock-forming minerals*, Vol. 4 および Strunz (1966) の *Mineralogische Tabellen* が出版され, 天然に産出する沸石の鉱物学的データが集成された。また, ゼオライトとその利用編集委員会 (1967) で, 桐山良一は沸石の鉱物学的研究を集成した。筆者 (1968) も沸石相に関連した沸石の鉱物学的研究をまとめた。しかし, その後の研究の進歩は著しく, 上述の 4 つの文献に示されたデータ以外の多くのデータが報告された。

ここで沸石研究の最近の進歩をまとめた。記述の方法は, 結晶学的に関連の深いグループごとに, 上記の 4 つの文献に示されたデータを補足する最近の研究を一括して示した。最後に筆者が特に興味を持っている部分についての一節を設けた。

謝辞: この論文をまとめるに当って, 多数の文献を御紹介下さった国立科学博物館, 加藤昭博士に感謝するとともに, いろいろな御指導を賜った, 東京教育大学長島弘三教授, 東京大学飯島東助教授に感謝する。

2 各種沸石のデータの補足

a) **natrolite - mesolite - scolecite - gonnardite - thomsonite** Scolecite [104.9meq (obs.) & 531.0meq (ca.)/100gr], および mesolite [54.9 meq (obs.) & 525.8meq (ca.) - 119.5meq (obs.) & 499.6meq (ca.)] の CEC が測定された (Harada, Hara and Nakao 1968)。Mesolite は常圧電気炉中で加熱すると gonnardite に良く似た相を通して, 非晶質物質に分解し, これは scolecite と良くともなって産出する (Harada, Hara and Nakao, 1968; Harada, Nakao and Nagashima, 1969)。また, mesolite と scolecite の X 線粉末回折線の指数が上記の文献で付けられた。

Natrolite-mesolite-scolecite-thomsonite-gonnardite 系列の同系イオン置換と, 化学成分の問題は, Foster (1965a, b) がまとめたが, mesolite は Foster (1965a) の示した範囲より一層広い $2\text{Na} \rightleftharpoons \text{Ca}$ の同形イオン置換を行い得ることが示された (Harada, Nakao and Nagashima, 1969)。橋本光男 (1960) は, natrolite の X 線粉末回折線の指数を付け, 日本の natrolite は, Foster (1965a) の示した範囲よりも Ca の含有量が多いことを述べた。

* 秩父自然科学博物館

Iijima and Harada (1969) は, gonnardite 中の $\text{CaO (mol.)} / \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O (mol.)}$ と屈折率との間に著しい相関々係を見つけた。Efimov *et al.* (1966) は $\text{SrO 9.72\%}$ を含む thomsonite を発見した。

b) gismondine-phillipsite gismondine の結晶構造が解析された (Fischer, 1963)。

Phillipsite の X 線粉末回折線の指数が付けられた (Harada, Iwamoto and Kihara, 1967)。

gismondine の X 線粉末回折線の指数が付けられた (Iijima and Harada, 1969)。

c) laumontite-mordenite-yugawaralite-heulandite-stilbite - stellerite-brewsterite Laumontite (Bartl und Fischer, 1967), yugawaralite (Kerr and Williams, 1967), heulandite (Merkle and Slaughter, 1968), stilbite (Galli and Gottardi, 1966), Brewsterite (Perrotta, *et al.*) (1964), epistilbite (Slaughter and Kane, 1968) の結晶構造が解析された。

Mordenite (Meier, 1961) と dachiardite (Gottardi and Meier, 1963) の結晶構造は良く似ている。

Ferrierite の世界で二番目の産出が加えられ (Alietti and Passaglia, 1967), 化学成分と光学的性質が示された。

Stellerite は Na を含まない stilbite の系列の斜方晶系, space group; F_{mmm} , F_{222} 又は F_{mm2} を持った独立の鉱物であることが示された (Erd, *et al.* 1967)。Stilbite の CEC は Harada and Tomita (1967) によって測定され, 269.03 meq (obs.) & 340.86 (ca.)/100gr が与えられた。この文献で stilbite の粉末回折線の指数が付けられ, $\text{Na}_2\text{O 3.60\%}$ 及び $\text{K}_2\text{O 0.86\%}$ を含む stilbite が記載された。

Heulandite の粉末回折線の指数は, Wise (1967) により付けられ, 同時に H_2O の含有量の多い heulandite が記載された。Praha の Czechoslovak Academy of Science の P. Černý は Sr, Ba を含む heulandite の産出, 性質について研究をおこなった (1968年7月, 私信)。

Yugawaralite の粉末回折線の指数は Barrer and Marshall (1965) により付けられ, 新しい化学式が $\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ として示され, 関陽太郎・原村寛 (1966) により, type locality の yugawaralite の分析値が示された。Harada, Nagashima and Sakurai (1968) によって更にくわしい化学分析値と光学的方位が決定された。

Yugawaralite は, Coombs *et al.* (1959) の定義による zeolite facies の中では, laumontite stage に晶出する (Seki and Okumura, 1968; Harada, Nagashima and Sakurai, 1969)。

d) gmelinite-chabazite-levyne-erionite-offretite gmelinite-chabazite-levyne-erionite の結晶構造は Smith (1962) がくわしくまとめた。Erionite と offretite が別の鉱物であることが示されたが, (Harada, Iwamoto and Kihara, 1967; Bennett and Gard, 1967), offretite の結晶構造モデルは Bennett and Gard (1967) により提出され erionite の精密な結晶構造解析は Kawahara *et al.* (1967) がおこなった。

Erionite-offretite 系列の化学成分や, $\text{Si/Al} + \text{Fe}^{3+}$ 比と光学的性質, 単位胞体積の関係が, Sheppard and Gude (1968) により示された。またこの文献で offretite の

X線粉末回折線の指数が付けられた。

Chabaziteの変種として, strontium chabazite (strontian chabazite) が Weibel (1963) や Černý (1965) によって記載された。Gude and Sheppard (1966) は silica-rich chabazite を記載した。

Strontion chabazite では, 普通の chabazite と単位胞の大きさは変わらない。silica-rich chabazite ではこれが多少小さいが, これは $(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4$ の骨組の Al の Si による置換のためである。

e) **faujasite** Faujasite の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比と格子恒数の間に相関々係のあることがわかった (Wright, *et al.* 1968)。

f) **analcime-wairakite-leucite** (?) Analcime-wairakite が連続固溶体系列のものであることは E. P. M. A. によって Surdam (1966) が示した。この系列に属する analcime-wairakite の中間鉱物の最初の完全分析と光学的性質は Harada and Sakurai (1967) が示し, Grivakov (1967) によっても記載されたが, これには分析値は示されていない。

Analcime が広い幅の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 値を持っていることが Coombs and Whetten (1967) 及び Iijima and Hay (1968) によって示された。Semenov (1967) は, K_2O を 8.30-9.64% 含む analcime の変種を見つけた。この研究は予察的なものであったが, X線粉末回折線に $6.82\text{\AA}$ が存在し, 正方晶系か単斜晶系である。leucite との連続固溶体系列の可能性がある。

3 興味深い今後の研究方向

a) 沸石相に関連した地質学的研究

(i) **yugawaralite · wairakite · laumontite** Yugawaralite, wairakite, laumontite は共生する場合が多い (Seki and Okumura, 1968; Harada, Nagashima and Sakurai, 1968)。Liou and Ernst (1968) の示した wairakite/laumontite の安定関係の図では, wairakite の方が laumontite よりも高温・高圧側で安定に生成することが示されている。これは, 天然の産状と良く一致するが, 実際は野外で laumontite と共生する yugawaralite がしばしば見られる (Seki and Okumura, 1968 及び関陽太郎 1968)。

Harada, Nagashima and Sakurai (1968) もこの産状を確めた。Liou and Ernst (1968) の図中に示された laumontite の生成する領域の中の高温・高圧部分に yugawaralite の安定領域が実際には存在しているはずである。なお今迄に合成された “wairakite” の中には, 準安定相として晶出する正方晶系の Ca-analcime も存在している (Seki, 1968)。この生成領域は Liou and Ernst (1968) により図示された。

(ii) **stilbite · heulandite** Stilbite は heulandite よりも低温・低圧で安定らしい (Harada and Tomita, 1967; 原田一雄 1968)。Crook (1961) の示した脈状沸石の産状と分帯では, stilbite と heulandite とは, 同一の分帯岩脈内では共存しない (1968, 私信)。また, Crook (1968, 私信) によれば, 地層中の, 垂直方向での脈状沸石の分布範囲の検討から Harada and Tomita (1967) の考察は支持される。Crook (1963) は更

に, mordenite-chabazite-quartz, chabazite-thomsonite, chabazite - analcime, -chabazite stilbite-quartz-chlorite, の集合で示される部分が, 彼の Fiji 島の調査区域には存在していて, これらは Coombs *et al.* (1959) の analcime-heulandite stage より低温・低圧で安定な亜相として定義し得る (Keith A. W., Crook, 私信)。更に Chappell (1968) はこの地域の prehnite-pumpellyite metagreywacke facies の論文を書いた。

(iii) 低温で生成する沸石類 Iijima and Utada (1966), Hay (1966) によれば analcime, clinoptilolite, chabazite, erionite, natrolite, phillipsite は低温の海底や塩湖で殆んど圧力の影響なしに生成する。Hawaii, Oahu 島では Iijima and Harada (1969) の研究によって, gismondine, gonnardite, faujasite もこの帯に産出する。常温の陸上で, sideromelane が天水の影響で palagonite に変質する時に, 沸石も一緒に出来る。Sheppard and Gude (1968) は, Lake Tecopa, California のこの帯に属する Pleistocene の凝灰岩から phillipsite, clinoptilolite, erionite, analcime, chabazite を報告した。

最近, R. L. Hay (1968, 私信) によれば, 多分塩基性火山岩の杏仁孔中に産出する沸石は低温で生成する。都城秋穂 (1965, p248) は Eskola (1939) の変成相の論文を引用して “沸石の集合は化学平衡の状態を表わすものでなく, 流動する熱水溶液のなかから, 順次に結晶するものであって, 沸石の種類はその溶液の性質と共に変るであろう” と述べた。ある程度の平衡状態で晶出したと考えられる Ca 沸石 + 石英の組合せから, Coombs, *et al.* (1959) は沸石相を提出した。

この化学平衡に達する度合は, 沸石相に属する亜相の中でも, 高変成度に属する亜相に向って, 増大するであろう。然し, 多かれ少なかれ, 完全な平衡状態で変成沸石が晶出するのではないから, 沸石相より高変成度の変成相と比較して, 限界の P.-T. 条件を指示する沸石種の決定や亜相の定義はむづかしい。更に沸石の同形イオン置換の幅が割に広いことによってもこのむづかしさは引き起こされる。

Liou and Ernst (1969) の laumontite の合成でも, Na の入った熱水条件では, laumontite はこれの入っていない条件よりも低温で合成される。

Iijima and Harada (1969) は Oahu 島の palagonite 凝灰岩中の沸石の晶出順序を下記のように示した。

phillipsite → gismondine → chabazite → gonnardite → natrolite → analcime.

Harada, Iwamoto and Kihara (1967) は間瀬の塩基性火山岩中の杏仁孔の中での沸石の晶出順序を下記のように示した:

- a) thomsonite → gonnardite → natrolite → analcime
- b) heulandite → phillipsite → natrolite → analcime
- c) heulandite → chabazite → erionite
- d) heulandite → analcime

この場合, a)-d) の相互の関係はよくわからない。Harada, Hara and Nakao (1968) は山梨県大島のオリビン玄武岩中の杏仁孔中の産状から, stilbite → scolecite → mesolite の晶出順序を報告した。また吉田・歌田 (1968) は mordenite → analcime の晶出順序を示した。

これらは, いずれも流動する熱水中又は冷水中で, 上記各々の沸石が, 溶媒中の陽イオ

ンの変化を反映しながら、晶出していった可能性を示す。

ここで、Correns (1963) の文献を見る。彼は熱水中で火山ガラスやいろいろの造岩鉱物を、純水や様々の塩類中で処理した実験結果を示した。この結果に共通していることは、アルカリ性～中性の水中で、 Al_2O_3 の方が SiO_2 よりも溶出・移動の度合いにふい。

間瀬の沸石でも、珪酸の少ない沸石から珪酸の多い沸石に向って、杏仁孔の内側より中心に向って、thomsonite → gonnardite → natrolite → analcime または、phillipsite → natrolite → analcime のような晶出順序が見られる。Heulandite は母岩中に散在して産出し、上記と一連の晶出ではない。Oahu 島での例や、吉田・歌田 (1968) のデータでは必ずしもこの傾向は明瞭ではない。しかし E. P. M. A. による沸石単結晶のデータでは、常に結晶外辺部に向って、より SiO_2 の多い帯状構造が認められる。

これらは、沸石が杏仁孔の壁面に沿って晶出する時に、溶液中で Al_2O_3 に比べ、 SiO_2 の移動がより活発に行なわれたと推定出来るデータである。 Al_2O_3 , SiO_2 の少なくとも一部は、杏仁孔の壁面よりの供給であると考え、 SiO_2 , Al_2O_3 の供給の活発さの程度に差があつて杏仁孔の中心に向い、より Si が Al より多量に供給されたと解釈できる。Oahu 島での例でも、間瀬の例でも、大島の例でも、沸石中の SiO_2 , Al_2O_3 以外の陽イオンを見ると、Ca 沸石 → (Na, K, Ca) 沸石 → (Na, Ca) 沸石 → Na 沸石の順に、これらの沸石類は晶出している。上記のデータと Iijima and Utada (1966), 関陽太郎 (1968), 原田一雄 (1968) の文献とから、下記のような沸石相の分帯を示すことができる。この場合 stage 2 以下は quartz を伴うものとする。

Stage 1: phillipsite-gismondine-analcime-garronite-offretite-chabazite-levyngmelinite-clinoptilolite-scolecite-natrolite-gonnardite-thomsonite stage

Stage 2: clinoptilolite-mordenite-stilbite-chabazite-analcime stage

Stage 3: analcime-heulandite-mordenite stage

Stage 4: laumontite-yugawaralite stage

Stage 5: wairakite stage

Stage 6: prehnite-pumpellyite metagreywacke facies

沸石相と炭化度との関係を見ると (Kisch, H. J., 1966), analcime - heulandite stage では高揮発分歴青炭が、laumontite stage では、半無煙炭が New South Wales の二疊～石炭系の地層中で共存している。

b) 沸石の塩基交換容量

沸石に陽イオン交換能があることは古くから知られていた。実際に定量的な CEC の測定が示されたのは、stilbite (Harada and Tomita, 1967), mesolite (Harada, Hara and Nakao, 1968), scolecite (Harada, Hara, Nakao, 1968) などで、純粋な単一相としての沸石の CEC の測定データは殆んどない。今後各種沸石の CEC の測定が必要である。これは沸石の結晶化学的性質と関連して、興味深いデータを供給するであろう。

c) 低温・低圧の熱水条件における沸石の合成と相変化

Sersale *et al.* (1965) は 240°C , 30atm で K^+ の存在する条件で火山ガラスを出発物質として、phillipsite を合成した。Harada, Tomita and Sudo (1966) は heulandite, stilbite を 300°C , 100atm で wairakite に変化させた。

普通, Coombs *et al.* (1959) の合成実験でも, Hay (1964) の合成実験でも, 蒸気圧下として圧力が明示されていないか, 又は圧力が明示されている場合でも 500atm 以上の合成実験のデータが普通である。しかし多数の沸石が 200atm 以下の熱水条件で, 他の相に変化する (長島弘三, 1968 私信)。このような研究方向も, 沸石の安定関係の解明に有効であって, 特に急冷可能なテストチューブ型のオートクレーブが望ましい。

付記: 上記資料提出後, 下記のデーターを補足し得た。

湊秀雄・歌田実 (1968), 輝沸石と斜方チロル沸石の化学処理と加熱変化。岩鉱, **60**, 213-221, により, heulandite, clinoptilolite の陽イオンは, 人工的に容易に置換され得ることが示された。同様の例は, Harada & Tomita (1967) により stilbite についても示された。この結果は, 湊秀雄・高野幸雄 (1964) Potassium clinoptilolite の産出について, 粘土科学 **4**, 12-22, や Harada & Tomita (1967) により記載された sodian stilbite の産出の正当性を補足し得る。いずれにせよ, 陽イオン交換能の大きな沸石では, 天然に産出する場合, 今迄考へていたよりも広い幅の同形イオン置換を行い得る可能性を示す。

原田一雄・中尾和三 (1969), 日本産ソーダ沸石二種, 地質雑, (印刷中) で, 千葉県鴨川町磯村産及び北海道根室国花咲岬花咲燈台下のソーダ沸石が記載された。この結果では, CaO は殆んど含まれていなかった。

Nakao, K., Harada K. and Kato A. (1969) Strontian chabazite from Miyano-hira, Ōme-city near Tokyo. Mineral. Jour. (in press) は, 秩父古生層中の輝緑凝灰岩中より, SrO 1.40% を含む chabazite を記載した。母岩の輝緑凝灰岩も SrO を 0.14% 含有している。

Harada, K., Umeda M. and Nagashima K. (1969), Hydrothermal reactions of some zeolites. Am. Min., **54**, (in press).

カルシウム沸石の, chabazite, scolecite, stilbite から, 100-300 atms, 220°C-300°C の水蒸気圧下で wairakite を合成し, 310~400°C, 100-300 atms で Tetragonal Ca-analcime を合成した。この結果は 500bar 以上での Liou and Ernst (1968, in press) の結果と良く一致した。

ナトリウム・カリウム・カリシウム沸石の phillipsite, gonnardite, thomsonite, mesolite, natrolite からは, 上記条件で analcime (確実に cubic) が合成された。

引用文献

- Alietti, A. and Passaglia, E. (1967), A new occurrence of ferrierite. Am. Min., **52**, 1562~1563.
Barrer, R.M. and Marshall, D.J. (1965), Synthetic zeolite related to ferrierite and yugawaralite. Am. Min., **50**, 484~489.
Bartl, H. und Fischer, K.F. (1967), Untersuchung der Kristallstruktur des Zeolithes Laumontit. N. Jahrbuch Mineral. Mh., **9**, 33~42.
Benett, J.M. and Gard, J.A. (1967), Non-identity of the zeolites erionite and offretite. Nature, **214**, 1005~1006.

- Chappell, B.W. (1968), Volcanic greywackes from the upper Devonian Baldwin formation, Tamworth-Barraba district, New South Wales. *Jour. Geol. Soc. Austr.*, **15**, 87~102.
- Černý, P. (1965), New occurrence of strontian chabazite. *Acta Univ. Carolinae-Geol.*, **3**, 163~174.
- Coombs, D.S., A.J. Ellis, W.S. Fyfe and A.M. Taylor (1959), The zeolite facies, with comments on the interpretation of hydrothermal syntheses. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **17**, 53~107.
- Whetten J.T. (1967), Composition of analcime from sedimentary and burial metamorphic rocks, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **78**, 269~282.
- Correns, C.W. (1963), Experiments on the decomposition of silicates and discussion of chemical weathering, *Clays and Clay Min.*, **10**-Conf., 443~459.
- Crook, K. A.W. (1961), Vein minerals from the Tamworth and Parry Groups (Devonian and lower Carboniferous), N.S.W. *Am. Min.*, **46**, 1017~1029.
- (1963), Burial metamorphic rocks from Fiji. *N.Z., Jour. Geol. & Geophys.*, **6**, 681~704.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J. (1963), *Rock-forming minerals*, Vol. 4 (Framework silicates), Longmans, London.
- Efimov, A.F., Ganzeev A.A. and Kataeva, Z.T. (1966), A find of strontium thomsonite in the U.S.S.R. *Dokl. Akad. Nauk., S.S.S.R.*, **169**, 1153~1155 (in Russian).
- Erd, R.C., Eberlein, G.D. and Pabst, A. (1968), Stellerite: A valid orthorhombic endmember of a contentious series with monoclinic stilbite (Abstr.). *Geol. Soc. Am., Program Ann. Meet.*, 1967, 58~59.
- Eskola, P. (1939), *Die metamorphen Gesteine. Die Entstehung der Gesteine* (Tom, F.W. Barth, C.W. Correns, und P. Eskola), 263-407. Julius Springer, Berlin.
- Fischer, K. (1963), The crystal structure determination of the zeolite gismondite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. *Am. Min.*, **48**, 664~672.
- Foster, M.D. (1965 a), Studies of zeolites: Composition of zeolites of the natrolite group. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, **504-D**, 1~7.
- (1965 b), Studies of zeolites: Compositional relations among thomsonites, gonnardites, and natrolites. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, **504-E**, 1~10.
- Galli, E. and Gottardi, G. (1966), The crystal structure of stilbite. *Min. Petrogr. Acta*, **12**, 1~10.
- Gottardi, G. and Meier, W.M. (1963), The crystal structure of dachiardite. *Zeit. Krist.*, **119**, 53~64.
- Grivakov, A.G. (1967), Occurrence of non-cubic hydrothermal analcime in the Crimea. *Zapiski. Vses. Min. Obsch.*, **96**, 724.
- Gude, A.J. and Sheppard, R.A. (1966), Silica-rich chabazite from the Barstow Formation, Sanbernardino County, Southern California, *Am. Min.*, **51**, 909~915.
- 原田 一雄 (1968), 沸石相一とくに地層の埋没深度による分帯に関して一. *地質雑*, **74**, 239-244.

- Harada, K., Tomita, K. and Sudo, T. (1966), Note on the conversion of stilbite and heulandite into wairakite under very low saturated water vapor pressures, *Proc. Japan Acad.*, **42**, 925~928.
- and Tomita, K. (1967), A sodian stilbite from Onigajō, Mié Prefecture, Japan, with some experimental studies concerning the conversion of stilbite to wairakite at low water-vapor pressures. *Am. Min.*, **52**, 1438~1450.
- Sakurai, K. (1967), A "calcian analcime" in ophiolite from Sugashima, Mié Prefecture, Japan, *Proc. Japan Acad.*, **43**, 889~894.
- Iwamoto, S. and Kihara, K. (1967), Erionite, phillipsite and gonnardite in the amygdaloids of basalt from Mazé, Niigata Prefecture, Japan. *Am. Min.*, **52**, 1785~1794.
- Hara, M. and Nakao, K. (1968), Mineralogical notes on mesolites and scolecites from Japan. *Min. Jour.*, **5**, 309~320.
- Nakao, K. and Nagashima, K. (1968), Ionic substitutions in natural mesolites. *Jour. Japan. Ass. Min. Petr. and Econ. Geol.*, **61**, 113~116.
- Nagashima, K. and Sakurai, K. (1969), Chemical composition and optical properties of yugawaralite from the type locality. *Am. Min.*, **54**, (in press).
- 橋本 光男 (1960), 北海道日東鉱山の優白岩にともなうソーダ沸石, 国科博研報, **46**, 59-63.
- Hay, R.L. (1964), Phillipsite of saline lakes and soils, *Am. Min.*, **49**, 1366~1387.
- (1966), Zeolites and zeolitic reactions in sedimentary rocks G.S.A., *Spec. Papers*, **85**, 130 p. N.Y.
- Iijima, A. and Utada M. (1966), Zeolites in sedimentary rocks, with reference to the depositional environment and zonal distribution, *Sedimentology*, **7**, 327~357.
- Hay, R.L. (1968), Analcime composition in tuffs of the Green River Formation, of Wyoming, *Am. Min.*, **53**, 184~200.
- Iijima, A. and Harada K. (1969), Zeolites in zeolitic palagonite on Oahu, Hawaii, *Am. Min.*, **54**, (in press).
- Kawahara, A., Takano, Y. Takabatake, M. and Uratani, Y. (1967), The composition and the crystal structure of erionite from Maze, Niigata Prefecture, Japan, *Sci. Pap. Coll. Gen. Educ. Univ. Tokyo*, **17**, 237~248.
- Kerr, I.S. and Williams, D.J. (1967), The crystal structure of yugawaralite, *Zeit. Krist.*, **125**, 220~225.
- Kisch, H.J. (1966), Zeolite facies and regional rank of bituminous coal. *Geol. Mag.*, **103**, 414~422.
- Liou, J.G. and Ernst, W.G. (1968), Zeolite equilibria in the system $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$, the stabilities of wairakite and laumontite (M.S., to be published).
- Meier, W.M. (1961), The crystal structure of mordenite (ptilolite). *Zeit. Krist.*, **115**, 439~450.
- Merkle, A.B. and Slaughter, M. (1968), Determination and refinement of

- the structure of heulandite. *Am. Min.*, **53**, 1120~1138.
- 都城 秋穂 (1965), 変成岩と変成帯, 岩波, 東京.
- Perotta, A.J. and Smith, J.V. (1964), The crystal structure of brewsterite (Sr, Ba, Ca) $(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. *Acta Cryst.*, **17**, 857~862.
- 関陽太郎 (1968), グリーンタフ地域の変成作用についての一考察, 岩鉱, **59**, 118-123.
- Seki, Y. (1968), Synthesized "wairakites". *Jour. Geol. Soc. Japan*, **74**, 457~458.
- ・原村寛 (1966), yugawaralite (湯ヶ原沸石) の化学組成, 岩鉱, **56**, 107~111.
- Seki, Y. and Okumura, K. (1968), Yugawaralite from Onikobe active geothermal area, northeast Japan. *Jour. Japan. Ass. Min. Petr. and Econ Geol.*, **60**, 27~33.
- Semenov, E.I. (1967), Zeolites of the Lovozero alkalic massif. in *Mineralogy of pegmatites and hydrothermalites of alkalic massifs*, *Inst. Min. Geokhim. Kristallokim. Redk. Elementov, Izdat. "Nauka"*, Moscow, 14~29 (Abstr. *Am. Min.*, **53**, 1777~1778).
- Sersale, R., R. Aiello e E. Vero (1965), Ricerche sulla preparazione e sul compositamento termico della phillipsite. *Per. Min.*, Roma, **34**, 419~434.
- Sheppard, R.A. and Gude, A.J. (1968), Distribution and genesis of authigenic silicate minerals in tuffs of Pleistocene Lake Tecopa, Inyo County California. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, **597**, 1~38.
- and ——— (1968), Chemical composition and physical properties of the related zeolites, offretite and erionite, *Am. Min.*, **54** (in press).
- Slaughter, M. and Kane, W.T. (1968), The crystal structure of a disordered epistilbite. *Zeit. Krist.* (in press).
- Smith, J.V. (1963), Structural classification of zeolites. *Min. Soc. Am. Spec. Pap.*, **1**, 281~290.
- Strunz, H. (1966), *Minralogische Tabellen* (4-auf.), Geest & Portig K. -G., Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- Surdam, R.C. (1966), Analcime wairakaite mineral series (Abstr.). *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, **87**, 169~170.
- Weibel, M. (1963), Chabazit vom Chrüzlistock (Tavetsch). *Schw. Min. Petro. Mitt.*, **43**, 361~366.
- Wise, W.S. (1967), A heulandite with excess water. *Min. Mag.*, **36**, 64~69.
- Wright, A.C., Rupert, J.P. and Granquist, W.T. (1968), High- and low-silica faujasites: A substitutional series. *Am. Min.*, **53**, 1293~1303.
- 吉田国夫・歌田実 (1968), 大館黒鉱鉱床地域におけるグリーンタフ変質に関する一考察. 鉱山地質, **18**, 333~342
- ゼオライトとその利用編集委員会 (1967), ゼオライトとその利用, 技報堂, 東京.