

資 料

地調月報 Bull. Geol. Surv. Japan, vol. 30(5), p. 307-317, 1979

553.24 : 551.71/.72 (47+57)

ソ連の先カンブリア系中における変成源鉱床の進化の特徴*

K. O. KRATTS, Yu. M. SOKOLOV,
V. A. GLEBOVITSKII, V. B. DAGELAISKII,
M. Ye. SAL'YE, S. I. TURCHENKO

岸本 文男**訳

地殻の先カンブリア紀時代史の中をメタロジェニック期 (metallogenic stage) ないしミネラジェニック期 (mineragenic stage) に分ける場合、非常に大きな役割を果たすのは地質学的領域と地質年代学的領域の総合的研究で、その端緒となったのが先カンブリア紀初期の絶対地質年代規準値表を最初に組み立て、さらにバルト楯状地東部地域における鉄鉱床、稀金属ペグマタイト、白雲母ペグマタイト、パーチェンガ鉱床・モンチ鉱床産銅-ニッケル鉱石の各生成年代を決めた A. A. POLKANOV と E. K. GERLING (1961) の研究である。ソ連科学アカデミー先カンブリア紀地質・地質年代研究所の共同研究者の諸論文の中に、最近のこの理念の発展が先カンブリア系コンプレックスの層序区分をいちじるしく正確にし、精密にただけでなく、東ヨーロッパ卓状地とシベリア卓状地の基盤の先カンブリア紀史の中に重要な「境界線」を認め得るまでになったことが著わされている (Геохронологические рубежи..., 1972; Геохронология..., 1968)。これらのデータによれば、構造地質条件・広域変成作用・花崗岩質マグマ作用の特徴を異にした次のような大陸型地殻発展の大地質時代が区分できる。すなわち、それが始生代前期 (3,500-3,300×10⁶ 年よりも以前)、始生代後期 (2,900-2,700×10⁶ 年よりも以前)、原生代前期 (2,200×10⁶ 年よりも以前)、原生代中期 (1,700×10⁶ 年よりも以前)、原生代後期ないしリーフェイ期 (650×10⁶ 年よりも以前) である。

多くの地質学者は、このような先カンブリア紀区分規準を用いて、地殻の各発展段階のメタロジェニックな特徴を把握しようと試みている。そして、N. P. SEMENENKO (1962) が最初に指摘したのは、上記の大地質時代区分による地質輪廻が同時に大単位の鉱床生成期となることであった。

また、V. I. SMIRNOV (1958, 1963), A. I. SEMENOV (1965), V. S. DOMAREV (1968) の論文で、時代を異にする先カンブリア紀褶曲区内の各鉱床の分布状況が検討されている。

さらに、D. I. GORZHEVSKII と V. N. KOZERENKO (1964, 1965) は上記と共通した前提に立って、先カンブリア紀を3つの主な鉱床生成期、すなわち、Protogey (30億年より以前)、Deuterogey (30-25-15億年)、Neogey (5-10億年より以後) に分けている。

そして、G. A. TVALCHRELIDZE (1970) は、M. V. MURATOV (1965) が明らかにした卓状地発達各段階の見解を念頭にして、先カンブリア紀の鉱床生成期を、始生代鉱床生成期 (南ローデシア鉱床生成期)、原生代前期鉱床生成期 (白海鉱床生成期)、原生代中期鉱床生成期 (ハドソン鉱床生成期)、リーフェイ前期鉱床生成期 (ゴート鉱床生成期)、原生代後期鉱床生成期 (バイカル鉱床生成期) の5期に分けている。A. I. TUGARINOV (1956) の、少し年を経て A. I. TUGARINOV と G. V. VOITKEVICH (1970) の論文も彼ら自身が区分した構造-マグマ作用輪廻による鉱床生成期区分を詳しく述べている。

上述の諸論文で主に配慮されているのは、経験的進化法則性の解明であり、大陸型地殻の各発展期における一般地質学および構造地質学的な特徴であり、鉱床の分布を支配する構造地質要素とマグマ作

* K. O. Кратц, Ю. М. Соколов, В. А. Глебовицкий, В. Б. Дагелайский, М. Е. Салье, С. И. Турченко (1973): Особенности эволюции метаморфогенного рудообразования в докембрии СССР: Геология рудных месторождений, том XV, №. 6, стр. 3-16.

** 鉱床部

用要素である。だが実際は、先カンブリア系中のもっとも重要なメタロジェニー要素となっているのは広域変成作用とそれに伴う超変成作用・花崗岩生成作用である。したがって、区分された大輪廻のミネラジェニック特性は変成源型鉱床の成因的分類中の位置と併せて検討すべきであり (VELIKOSLAVINSKII ほか, 1968; SOKOLOV ほか, 1972), その成因的分類は母岩の変成と金属・非金属鉱物資源の生成過程との時間的關係と相的対応を考えて組み立てられなくてはならない。

変成源鉱床は、パラ変成生成体もしくはプロ変成生成体、レオ変成生成体、オルソ変成生成体の3種 (class of formation) に分けられる。

パラ変成生成体は、広域変成前の堆積過程またはマグマ作用過程で生じた鉱床を一括したものである。変成作用は鉱床の特徴を本質的には変えていないが、ただ金属・非金属資源の鉱物の形を変化させている。その例となり得るのは含鉄珪岩鉱床、硫化鉄鉱-多金属鉱床、藍晶石-珪線石鉱床である。

レオ変成生成体は、変成作用に伴う交代流動作用 (Metasomatic Mobilization) によって初成分散有用成分が高い濃度で再沈殿した鉱床を一括したものである。その場合、金属資源や非金属資源の種々の熱水-変成鉱床が生成する (含鉄珪岩富鉄体、銅-ニッケル鉄体、多金属鉄体、アルミナ鉄体など)。

オルソ変成生成体は変成過程で生成した鉱床、たとえば白雲母ペグマタイト鉱床、稀金属ペグマタイト鉱床、黒鉛鉄床、金紅石鉄床などを一括したものである。

程度の差こそあれ変成源型鉱床の生成体タイプを規制しているのは変成作用の熱力学的条件で、その中でも主要な役割を果たしているのが熱条件である。この熱条件は活変動区内の一般地球化学環境および構造地質条件に関係が深い (GLEBOVITSKII, TURCHENKO, 1970; SOKOLOV ほか, 1972)。熱流量強度の相対的評価は相律にもとづいて行う。実験研究のデータと天然の鉱物共生関係の解析結果を総括すると、温度/圧力比の値をそれぞれ異にする一連の相系が区分できる (GLEBOVITSKII, 1971, 1973)。たとえば、第1図の A_{1-3} , AB , B_{1-2} , C がそうで、それぞれの相系領域内では広域変成相と広域変成亜相の区分ができる。

V. A. GLEBOVITSKII (1973) は、相律を用いて、先カンブリア紀の期間における広域変成過程の進化を追究し、地殻中のその各種発達段階における総熱流量強度を評価し、活変動区の構造地質条件・地熱条件分化度の時間的変化を判定しようと試み、次のような結論を導き出している。

古期卓状地盤構造の始生代前期発達段階は、大部分が B_1 相系に属する主として中圧グラニュライト相条件下の均質変成作用の発達を特徴とする。それほどいちじるしくは変成が進んでいないのが A_3 相系ないし B_2 相系の場合である (たとえば、アルダン楕状地の西部- A_3 相系と南部- B_2 相系)。

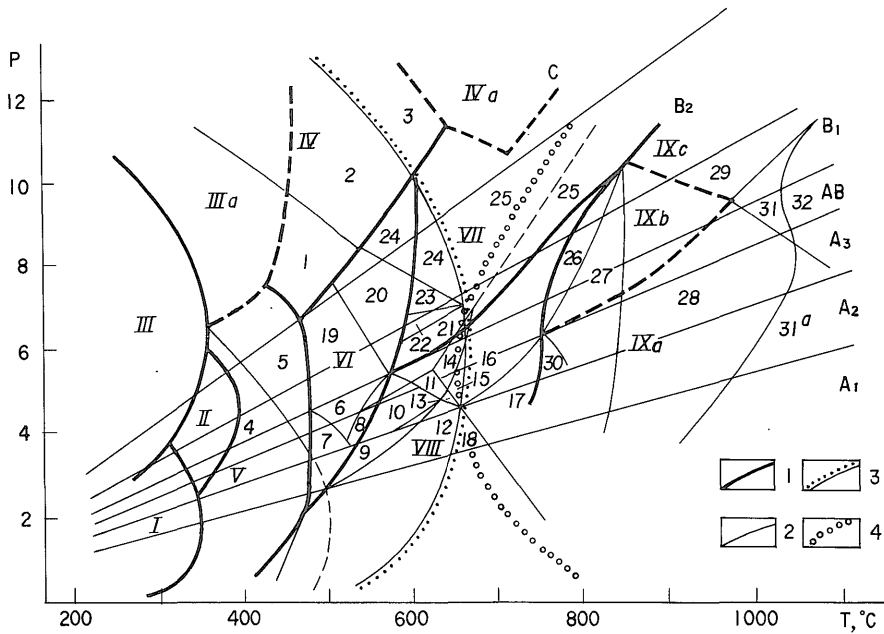
現世の浸食作用を受けて露出した断面にみられる始生代後期の変成作用は、広い面積にわたって同質性を保ちながら (先原生代活変動区の構造分化度が低いことの反映)、アルマンディン-角閃岩相とカミングトン角閃石-角閃岩相の中間条件 (B_1 相系と AB 相系) 下で進行し、強い超変成作用と大量の花崗岩類の生成を伴っている。

原生代前期には、東ヨーロッパ卓状地とシベリア卓状地の基盤構造形成史の中できわめて大きな変動が始まっている。たとえば、この時代に構造地質条件の不均一性が顕著な最初の地向斜系が累重し、それが構造地質累帯と明瞭な地殻熱場分化に反映している。すなわち、この時代には A 群および B 群の相系の条件下における一般構造地質環境に規制されて変化した、高勾配の平面累帯性を伴う変成コンプレックスが形成され始めている (KRATTS, GLEBOVITSKII, 1972; KRATTS ほか, 1973)。

構造地質条件の分化傾向がとくにはっきりと現われたのは大陸型地殻の原生代中期発達時代で、この時期にペアーの変成帯系、たとえば東ヨーロッパ卓状地北西部の白海=ラブラント変成帯とスウェコフェン変成帯が生じている。

ここで強調しておかねばならないのは、 C 相系条件下で形成されている最古期のエクロジヤイト片岩コンプレックスがこの原生代前期および中期発達段階に該当することであり、年代範囲が $2,400-1,800 \times 10^6$ 年となることである。

次の地殻史における重要な変革がみられる時期はリーフェイ期の開始と一致する。この時期に第2の地向斜系が形成され始めているが、その構造地質条件、当該地向斜範囲に現われている変成作用とマグ



第1図 相・亜相・相系の概要

1. 相の境界 (一般に幾らか1変数平衡) 2. 亜相の境界とし得る1変数平衡 3. 石英を伴う白雲母の安定領域上限 4. 花崗岩の熔融最低限界
- 相: I. 沸石相とパンペリー石-葡萄石相 II. パンペリー石-陽起石相 III. 藍閃石-ローソン石相 IIIa. 藍閃石-緑簾石片岩相 IV. エクロジャイト相 IVa. 藍晶石-エクロジャイト相 V. 緑色片岩相 VI. 緑簾石-角閃岩相 VII. アルマンディン-角閃岩相 VIII. カミングトン角閃石-角閃岩相 IX. グラニュライト相 (IXa. 低圧, IXb. 中圧, IXc. 高圧)
- 亜相: 1. パラゴナイト-ゾイサイト-藍晶石-石英亜相 2. 白雲母-ゾイサイト-藍晶石-石英亜相 3. ゾイサイト-藍晶石-石英亜相 4. ざくろ石亜相 5. ざくろ石亜相 (緑色片岩相) 6. クロリトイド-堇青石亜相 7. ざくろ石-緑簾石-白雲母亜相 8. 堇青石-十字石-緑泥石亜相 9. 堇青石-十字石-ざくろ石亜相 10. 十字石-堇青石-黒雲母-白雲母亜相 11. 黒雲母-十字石-白雲母-紅柱石亜相 12. 堇青石-紅柱石-白雲母亜相 13. 紅柱石-ざくろ石-白雲母-黒雲母亜相 14. 珪線石-十字石-黒雲母-白雲母亜相 15. 珪線石-ざくろ石-白雲母-黒雲母亜相 16. 珪線石-黒雲母-ざくろ石-正長石亜相 17. 珪線石-ざくろ石-堇青石-正長石亜相 (角閃岩相) 18. 堇青石-紅柱石-正長石亜相 19. 十字石-緑泥石-白雲母亜相 20. 十字石-黒雲母-藍晶石-白雲母亜相 21. 黒雲母-十字石-白雲母-藍晶石亜相 22. 堇青石-十字石-ゼーデル角閃石亜相 23. 十字石-ゼーデル角閃石亜相 24. ざくろ石-藍晶石-黒雲母-白雲母亜相もしくはゼーデル角閃石-藍晶石-ざくろ石亜相 25. ざくろ石-黒雲母-藍晶石-正長石亜相 26. 珪線石-黒雲母-ざくろ石-正長石亜相 (グラニュライト相) 27. 珪線石-ざくろ石-堇青石-正長石亜相 (グラニュライト相) 28. 紫蘇輝石-堇青石-正長石亜相 29. 紫蘇輝石-珪線石-正長石亜相 30. 普通角閃石-紫蘇輝石-透輝石-斜長石-石英亜相 31と31a. 尖晶石-石英亜相 (堇青石-ざくろ石共生を欠く) 32. サファアリン-石英亜相
- 相系: A₁. クロリトイド-紅柱石-堇青石-珪線石相系 A₂. 十字石-紅柱石-珪線石相系 A₃. 十字石-堇青石-珪線石相系 AB. 中間性藍晶石-紅柱石-十字石-珪線石相系 B₁. 十字石-堇青石-藍晶石-珪線石相系 B₂. 十字石-ゼーデル角閃石-藍晶石-正長石相系 C. 藍閃石-ローソン石-オンファス輝石-ざくろ石相系

マ作用からすれば、この地角斜系は顕生代地角斜の場合と差がない (KRATTS, GLEBOVITSKII, 1972; GLEBOVITSKII, 1973).

始生代前期グラニュライト変成作用がもっとも不均一に現われているのが東シベリアで、アルダン山塊では B₁ 相系のグラニュライト=コンプレックス (西部では A₃ 相系) が、その南のジュグジュール=スタノボー褶曲区では B₂ 相系の生成体が分布し、その上、前者の場合には山塊周縁部で始生代前期全期間にわたり圧力が高い値を維持していたのに、変成作用深度の減少傾向 (もしくは平均熱流量強度の増加傾向) がはっきりと認められる。

アルダン山塊地域では、A₃ 相系のもっとも後期のグラニュライト変成作用がカミングトン角閃石-角閃岩相 (A₃ 相系) のざくろ石-珪線石-堇青石-正長石亜相のダイアフトレシスに変わっている。さらにその後、原生代前期の変成作用によって (サブガーン=コンプレックス, NEELOVほか, 1971) A群の I

相系の条件下におけるダイアフトレシスが進んでいる。

A₃相系に属する変成コンプレックスの生成(この場合、アルダン山塊西部のグラニュライト相を考える)は、垂直分層が、なかでも厚い花崗岩質層がよく現われている、先に圧密された周辺地域に関しても前地質時代に長い進化過程を経た地殻部分に特有のものである。この変成コンプレックスに密接に関連するのが始生代堆積-火山源岩層系の特性としての深部分化岩層の卓越することであり、主としてカリ質の花崗岩類の広範に分布することである。

アルダン山塊の発達の特徴とこの西部地域の鉱物学的特徴とは深い結びつきをもっている。なかでも、特徴的なのは高アルミナおよび鉄に富むパラ変成ミネラジェニック生成体が広く分布することであり、比較的後期の進化段階でオルソ変成生成体のマグネシウム-カルシウム交代岩が現われ、それが鉄鉱床および金雲母鉱床を伴伴することである。

別の進化過程が、アルダン山塊の周縁を縁どり、かつ始生代前期基盤上に累重した始生代後期-原生代前期活変動帯に認められている(スタノボーイ帯とオリョークマ帯、NEELOVほか、1971)。優地向斜型始生代前期堆積-火山源岩層系(NEELOV, 1968)とB₂相系グラニュライト相条件下でのその変成作用のペトロジェニックな性質は、多輪廻区の発達初期段階に特有のものである。始生代後期にこれらの岩層はスタノボーイ=コンプレックスの岩層の変成と関連して、アルマンディン-角閃岩相(B₁相系)の高温亜相条件下で広域ダイアフトレシスを受け、原生代前期になって多輪廻区発達の後期を代表する堆積岩層系と火山源岩層系が形成され、これらの岩石に特徴的な浅深度(A₃相系とA₂相系)で多くは不均一な変成作用が現われる。

このような進化過程は上記多輪廻区の多くのメタロジェニックな性質を規制し、始生代前期のコンプレックス中には火山源-珪質岩層系と関係あるパラ変成鉄鉱生成体および被変成はんれい岩-斜長岩コンプレックスと関係あるオルソ変成チタン磁鉄鉱生成体の形成が期待できる。発展の第2段階を特徴づけるのが含雲母ペグマタイトのオルソ変成生成体である。

進化の第3段階はいちじるしく多様なことで前2段階と異なり、もっとも重要なこととしてはオルソ変成鉄床とレオ変成鉄床の役割の増大がある。

以上のように、多輪廻的に発達した上記諸地域の長い進化過程で、時代的に、堆積-火山源岩層系のタイプ、構造地質条件の性格、変成作用のペトロジェニックな特徴、地熱条件、地球化学的条件、したがって変成コンプレックスおよび変成帯の鉱物生成区分(mineragenetic specialization)が規則的に変化している。これらの特徴は鉄床生成期の区分に対する根拠を与えてくれる。そのような根拠と併せて配慮しなくてはならないのは、ある変成源有用生成体の存在が地殻の歴史の中でその位置と密接に関係するだけでなく、鉄床を胚胎する変成コンプレックスが当該地域の構造発達の何らかの段階を反映することである。異なる地域でそれぞれ区分された鉄床生成期が同一の生成期と言えるのは当該発達期の地質生成体が酷似しているような場合だけである。それにもかかわらず、互いに遠く隔絶した地域(例えば、東ヨーロッパ卓状地とシベリア卓状地)に共通した進化の法則性を明らかにすることは、本論文の最初に述べた先カンブリア紀史の各期が、同時に地殻発達の非可逆性を反映した、明瞭な特質を備えている鉄床生成期でもであると推定できる根拠を与えてくれることになる。

以上に述べた見地に立って、ソ連の古期卓状地基盤中の変成帯の構造と構造発達の性質を考慮しながら、以下、広域変成作用と成因的結びつきが認められる金属および非金属有用鉄床形成作用の進化について述べることにする。そのような鉄床に該当するのは、含鉄珪岩、硫化物鉄生成体、白雲母ペグマタイト、白雲母-稀金属ペグマタイト、稀金属ペグマタイト、含水晶石英脈、アルカリ交代岩やマグネシウム-カルシウム交代岩と関係ある特殊な生成体(金雲母鉄床、燐灰石鉄床、鉄鉄床、硼素鉄床、稀土類鉄床、ウラン鉄床、ウラン-トリウム鉄床)、そして藍晶石・珪線石・コランダムに関係ある高アルミナ岩生成体である。

先カンブリア系中の変成鉄床生成作用の進化の特徴を、その発達史における前記主要段階(大輪廻)の順に述べてみたい。

始生代前期鉄床生成輪廻を区分したのは始生代前期の深部被変成表成岩コンプレックスのフォーメイ

ジョン解析 (NEELOV, 1968; SALOP, 1972; LAZ'KO など, 1972), そして古期褶曲区におけるマグマ作用と変成作用の特徴 (KRATTS, GLEBOVITSKII, 1972; GLEBOVITSKII, 1973) に関する現在までの資料にもとづいてのことである。

地質学的・岩石学的・地球物理学的データによると, 東ヨーロッパ卓状地の基盤中には上述の生成体が中圧グラニュライト (6 kbar, から10 kbar, Гранулитовая фация..., 1972) の連続発達地域3地域, すなわち, 沿バルト地方, ウクライナ楕状地西部, ボルガ=ウラル地方に分布する。シベリア卓状地の基盤中の場合は, アルダン山塊および北側でこれに接する地域に賦存する最古期コンプレックスの一部を構成している。地殻全体の変動性が一般に大であった始生代前期の生成体の構造地質的分化度の低いこと, 主としてグラニュライト相という状態で現われている変成作用の熱条件が比較的均一であったことは始生代下部コンプレックスのメタロジェニックな性質が安定し, レオ変成鉄床とオルソ変成鉄床の発達が弱く, パラ変成鉄床が始生代前期の明白な特徴となった原因である。

パラ変成鉄床のうち, とくに大きな役割を演じているのは鉄鉄床 (高アルミナ質片麻岩・珪石・塩基性結晶片岩・磁鉄鉄-石英-紫蘇輝石片麻岩・榴輝かんらん岩と共存する含鉄珪岩) で, 中央コラ地塊の始生界 (コラ系) 中に, クルスク磁気異常地域 (クルスク=ベセジノ異常地区) に, ウクライナ楕状地北部 (ポロダールカ異常地区) に, アルダン楕状地南部 (ホロドニカン山稜) その他の地区に知られている。グラニュライト相の変成作用は鉄石の低品位化をもたらして, 当初鉄石成分に富んでいた岩石の鉄分はその大部分が珪酸塩の形に変わり, そのことが始生代特有の榴輝かんらん岩層系の出現を左右したと解される (BONDARENKO, DAGELAIKII, 1968)。条件としてより適しているのは含鉄層系が角閃岩相の変成作用を1度だけ受けているか, あるいは最初のグラニュライト相に重なって角閃岩相の変成作用が働いた場合である。その場合, パラ変成鉄石の品質がよくなるだけでなく, 再沈殿性高品位レオ変成鉄床を生ずる可能性もでてくる。

始生代前期に幾つかの地域では, 深部堆積分化作用を経た岩層が集積している。そのような岩層と高アルミナ生成体とが共存することもあり得る。たとえば, 被変成ボーキサイトと考えられているアルダン山塊南縁の小規模なコランダム鉄床がそうである (OZEROV, BYKHOVER, 1936)。

始生代下部コンプレックスには, 稀ではあるが, コラ系とイエングラ系中にパラ変成硫化鉄鉄床 (ないし部分的にレオ変成硫化鉄鉄床) が, ウクライナ地方とビチム=オリョクマ地域の黒雲母-石英-長石岩中に黒鉛鉄床が, 沿パイカル地方に燐灰石鉄床が賦存する例がある。

グラニュライト-コンプレックスの発達過程, とくにその変成後期段階で, 炭酸塩岩と塩基性結晶片岩に富んだ環境内ではマグネシア・スカルンの形成およびそれと関係ある金雲母鉄床・磁鉄鉄床の形成をもたらすような交代作用の進行に適した条件が成り立っている。中深度のグラニュライト相変成作用を経た岩層にこれらの鉄床が胚胎されていることは, カナダのグレンビル, マダガスカル, 朝鮮, スリランカ, アルダン楕状地などの鉄床別資料によって説明できる。

オルソ変成金雲母鉄床・鉄鉄床の生成期および広域変成過程とこれら鉄床を規制するマグネシア=スカルンの生成関係の性質については, さまざまな観点がうち出されている。N. G. SUDOVNIKOV がかつて提起した塩基性前線の出現と上記鉄床との結びつきという概念 (DRUGOVA ほか, 1959) は, その後の論文で承認されなかった (MIKHAILOV, 1973; SAL'YE ほか, 1972)。論文の中でMIKHAILOV らは, 母岩の変成と鉄床の空間的・時間的關係をいちじるしく正確にしながら, D. S. KORZHINSKII および彼の後継者たちの成因的概念に事実上たち戻っている。その際, D. A. MIKHAILOV (1973) はグラニュライト相の変成から時間的にいちじるしく隔絶している角閃岩相の先行変成現象と金雲母鉄床の生成とをあらゆる場合を通じて結びつけている。たとえば, アルダン楕状地の場合には始生代下部層 ($3,300 \times 10^8$ 年より以前) のダイアフトレシスが $1,800-1,900 \times 10^8$ 年以前に現われたとされている。このことは, 絶対年代測定によって証明されている (MIKHAILOV, LEVCHENKOV, 1971)。M. Ye. SAL'YE ら (1972) は, 地質学的, 構造地質学的, 岩石学的, 地球化学的研究のデータにもとづいて, 含金雲母マグネシア=スカルンが低圧グラニュライト相条件下で変成した始生代前期フォードロフカ系の第2褶曲輪廻の後期後退変成段階と完全に規則的な関係をもっている, と考えている。その場合, スカルンと第2褶曲輪廻の結晶片岩

化帯岩石および花崗岩類の地球化学的な類似性をはっきり現われている。換言すれば、当該データはグラニュライト相変成コンプレックスと前記鉍床群との間に常に認められる空間的結び付きが偶然のものではないことを物語っている。しかしながら、以上のようなデータのすべてが含金雲母マグネシアスカルンの生成期問題や始生代前期鉍床生成期におけるオルソ変成鉍化作用の役割についての問題をまだ同義的に解決できるまでに至っていない。

全体として、始生代前期鉍床生成期は内因性鉍床に乏しく、とくにオルソ変成鉍床に乏しい。この事実は何人かの研究者に先カンブリア紀初期の金属胚胎量がもともと少なかったものであり、それは始生代岩層の構成にマグマ分化起源の花崗岩類が加っていないためであるという結論を与える根拠となっている (GORZHEVSKII, KOZERENKO, 1964)。しかし、始生代前期の深部被変成コンプレックス中では多くの金属鉍物共生が到る所に分布するグラニュライト相 (もしくは高温角閃岩相) 条件下において不安定なことも考慮しなくてはならない。大きな温度勾配が水平方向にも (低分化熱場にははっきりした地熱異常が存在しない)、垂直方向にも (非常に多くの場合に変成作用が均一に働らく) 存在しないことも特徴的である。このような状態は一般にオルソ変成鉍床およびレオ変成鉍床と関係することが多い後マグマ過程 (後ミグマタイト過程) 現象を弱くし、造鉍元素のいちじるしい分散も規制した。グラニュライト相の変成作用が加わった流動状態も大きな特徴である。とくに、これらの転移は H_2O の活性がきわめて小さいとき、たとえば低・中温、低・中圧の変成作用によって進行する (DOBRETsov ほか, 1970)。

始生代前期鉍床生成期の時代には、ペグマタイト化作用に適した熱力学的条件がなかった。したがって、この時代にはペグマタイトが多くは生成していないので、始生代前期の純粋なグラニュライト=コンプレックスの、たとえば白雲母鉍床の探査に対する展望は全くなり立たない、ということになる。

始生代後期大輪廻の最初にシベリア卓状地では、大規模な、比較的安定した山塊 (例えば、アルダン凝クラトン) とそれを取りまく活変動帯 (ジュグジュール=スタノボーイ帯とそれに接する地域) が分離した。東ヨーロッパ卓状地の同様な基盤地体構造の区分は、十分なデータ量がないために不可能である。しかし、ソ連領内の始生代後期褶曲帯はいずれも深く削剝され、褶曲の「基底」部分からなり、そのため当該部分には始生代下部グラニュライト=コンプレックスの深部転移過程で生じたミグマタイト化片麻岩・花崗片麻岩・原地性花崗岩類・準原地性花崗岩類が広く分布する。始生界上部系は始生界下部系の場合とはっきりしたフォーメーションの違いを示し、そのことが前者のメタロジェニックな特徴を支配し、始生代後期を独立した鉍床生成期 (またはメタロジェニック大輪廻) に区分し得る根拠となっている。

この時代には、パラ変成鉄鉍床・アルミナ鉍床の役割が急減する。おそらく、始生代後期には腐泥岩が現われ、それが硫化物の形で賦存する鉍石元素の捕集岩となっているだろう。

中圧条件下での角閃岩相高温歪相の均一な変成作用、小温度勾配値条件下での広範な花崗岩化作用の発達がこの大輪廻の中での熱水-交代鉍床、レオ変成鉍床、オルソ変成鉍床の分布を限定している。同時に、現在明らかになっている削剝深度での始生界上部系変成帯中で支配的な条件はペグマタイトの生成に適し、地熱条件および一般地球化学的環境は酸性溶脱傾向が強く現われた場合に白雲母鉍床 (ジュグジュール=スタノボーイ褶曲区のパグマタイト)、アルミナ原料鉍床、稀金属鉍床の形成を規制している。

始生代大輪廻についての上記資料は、東ヨーロッパ卓状地とシベリア卓状地のものである。世界の多くの地域で始生代大輪廻に属しているのは、地質学的にも鉍床生成・分布の点でも前述の場合とは大きく異なった構造区・岩石コンプレックスである。たとえば、カナダ楕状地で始生代後期の絶対年代値に相当する所はスーペリオル湖地方のイエローナイフ系と先ヒューロン系の主として弱変成火山源岩層からなっている。また、北アメリカ卓状地内の始生代後期地殻発達時代はミネラジェニックな関係でいうと、東ヨーロッパ卓状地およびシベリア卓状地の始生代後期との類似性が認められなくて、むしろ後2者の始生代前期の場合に非常によく似ている。

原生代前期の初頭に大陸型地殻発達史における1大変化が起って、原生代前期鉍床生成輪廻の形成の端緒となった初の地向斜系が生じている。この時代の場合は、次のような進化の特徴がみられる。

すなわち、特定の構造-フォーメーション帯内に厚い陸源性の、主としてグレイワック層と火山源-珪質層が堆積し、それに伴って含鉄珪質ジャスピライト層群が、ときには緻密で厚い赤鉄鉱鉄床と菱鉄鉱鉄床が形成されている (SALOP, 1972). 生物圏の急激な発達に腐泥層群の役割の急増をもたらしているもの、と解される (KRATTS, CHERNOV, 1970).

この時代には、塩基性や酸性の貫入マグマ作用がいずれも強く現われているが (VINOGRADOV, TUGARINOV, 1961), メタロジェニックな特徴を互いに異にする貫入岩のフォーメーション・タイプがかなり多様なことは予想に難くない。

原生代前期には、活変動区における熱流量の急激な分化を反映した累帯変成コンプレックスが生成し始め、地熱条件を互いに異にしたペアーの変成帯が生成し始めている。

この原生代前期大輪廻の鉄床生成相を規制した原生代前期の典型的な生成体となっているのは、パラ変成・レオ変成複合鉄鉱フォーメーションと同じく硫化鉄鉱フォーメーションである (ウクライナ楯状地、カレリア地方、北カザフ地方、東サヤン地方、ツーパー地方、西サヤン地方、北西沿バイカル地方、パートム高原地方)。加えて、ウクライナ楯状地のクリボイ=ログークレメンチューク帯とベロジョールカ帯の高品位レオ変成鉄鉱の形成は、これらの地域の変成作用史の解析結果によると (BELEVITSEV ほか, 1960), おそらく後退変成作用時における紅柱石-珪線石型変成作用の熱力学条件下で行われたもので、この紅柱石-珪線石型変成作用と交代作用過程および高品位鉄鉱の形成は直接結びついている (VIZIRYAKIN, 1970). おそらく、上記鉄床中の金鉱化作用 (ROZHKOV ほか, 1971) も同じ段階に相当するものであろう。

変成作用の役割が非常にはっきり現われているのが幾つかの硫化物鉄鉱フォーメーションの生成の場合である。たとえば、カレリア地方の硫化鉄鉱鉄床 (パランドボ、ハウトパーラ、チャールカ、ヤロンパーラ) のレオ変成磁硫鉄鉱富鉄体の生成は火山源-堆積パラ変成黄鉄鉱鉄石に広域変成作用の後退変成段階で生じた磁硫鉄鉱化作用が重なった結果である。

原生代前期鉄床生成輪廻の中でレオ変成鉄床の役割が大きくなることは、興味深い。このことは、何よりもまず水平・垂直地熱勾配が大きい条件下での変成作用と、そしてその結果として変成作用の後退変成段階における初期アルカリ交代過程、酸性交代過程、後期アルカリ交代過程と関連し、それらの諸作用は熱水-変成富鉄体形成の際の初成貧鉄体の富化に適しているのである。

原生代前期の場合だけでなく、先カンブリア紀地殻発達史全体でも特徴的な、酸性溶脱作用と関係あるパラ変成、部分的にはレオ変成のアルミナ資源鉄床も、原生代前期に特有のものである。

原生代前期輪廻の時代に、オルソ変成ペグマタイト生成体、バリンジェネシス-交代ペグマタイト生成体の役割がいちじるしく増大している。その際、変成作用が A_2 相系と A_3 相系の条件下で経過した変成帯では、稀金属ペグマタイト鉄床が生じている (アルダン山塊に接したジュグジュール=スタノボーイ褶曲帯、沿サヤン帯、エニセイ山脈、中央コラ地塊北部とそのムルマンスク地塊との接合帯、クリボイ=ログ帯)。コラ=ノルウェーカレリーズ帯中央コラ地塊では、 A 群の相系の変成作用が始生代後期に中圧条件下の転移 (B_1 相系) を経た片麻岩層に重なり、その際、あまり期待のもてない白雲母-稀金属鉄石生成体が生じている (SAL'YE ほか, 1971)。藍晶石型の変成帯 (B 相系) には、白雲母ペグマタイトが生成する (SOKOLOV, 1970)。

原生代中期輪廻の間には第1の地向斜系がひき続き発達し、地体構造分化の傾向がさらに強まり、結果としてパラ変成鉄床生成体にこの輪廻独得のものが加って、レオ変成生成体とオルソ変成生成体の役割が増大し、このことが原生代中期鉄床生成輪廻の特徴を定めている。

原生代中期には東ヨーロッパ卓状地内に比較的安定した広大な独立地域が形成され、そこでは広い面積にわたって化学的風化殻と強分化石英砂・石英質礫岩・高アルミナ堆積物層が生成したものとされる。これらの地層と関連しているのが特殊な金鉄床 (礫岩)、被変成ボーキサイト、含ウラン生成体である。おそらく、最古期の赤色層であるウドカン型含銅砂岩層もこれと同じ時期のものであろう。ここで注意を払わねばならないのは、他の大陸ではより古期の大輪廻が同じような鉄床生成上の特徴を備えていること、たとえば、バルト楯状地の原生代中期生成体と酷似する比較的安定した構造区に生成体がカ

ナダ楯状地では原生代前期 (ヒューロン系) と年代測定されていることである。この事実は、凡地球的な鉱床生成期・鉱床生成区の総括に慎重な態度が必要なことを再度物語るものである。

原生代中期には生物源堆積作用要素の割合が大きくなり、そのため、パラ変成硫化物鉱床の量が增大している。このこと自体がレオ変成硫化物鉱床の生成を助長している。これらの多様性を大きくした原因は種々雑多だが、主なものは堆積条件、当該鉱床生成区における噴出・貫入マグマ作用の性質、広域変成過程のタイプと進行順序である (TURCHENKO, 1971; GLEBOVITSKII, TURCHENKO, 1970)。

黒色硫化物頁岩層を挾在し、先褶曲期超塩基性貫入岩に切られ、緑色片岩化変成作用や藍晶石-珪線石型累帯変成作用を受けた主として火山源および陸源グレイワック層群で埋まっている凹地内には銅-ニッケル鉱床 (コラ半島のペーチェンガ、アルラレチェンスク、ロブノゼロ、プロチチエの各鉱床) が形成されているが、その鉱石の大部分がレオ変成の性質を備えていることは最近の研究で明らかにされたばかりである (TURCHENKO, YEFIMOV, 1972; GERLING ほか, 1973)。

A群の相系条件下で変成された超塩基性ないし塩基性貫入岩に切られる、陸源岩・黒色頁岩層を伴ったバルト楯状地の南フィンランド上部カレリーズ帯には、ニッケルとコバルトの鉱化作用を随伴した含銅硫化鉄鉱床 (オートクンプ鉱床、オリエルビー鉱床、アヤール鉱床と沿ラドガ湖地域鉱床群) が分布している。この上部カレリーズ帯に賦存する陸源層-炭酸塩層群は、多金属鉱床と稀金属鉱床 (フィンランドのビハンチ鉱床、ソ連の沿ラドガ湖地域鉱床群) の分布を規制している。

上記のすべての場合に主要な鉱床生成要素となっているのは、変成輪廻の後退変成期と法則的な関係を有する酸性溶脱作用と後期アルカリ交代過程である。

原生代中期は、主要なペグマタイト生成期の一つである。とくにバルト楯状地では原生代中期に、Yu. M. Sokolov (1970) が分類したすべての変成源ペグマタイト鉱床が生成している。そのよい例となるのは白雲母-藍晶石-ざくろ石-黒雲母亜相帯に相当するペロモルスク-ラブランド変成帯部分の白雲母ペグマタイトで、十字石亜相帯部分ではそれが稀金属-白雲母ペグマタイト (たとえばコラ=ノルウェー、カレリーズ帯ケイブイ地塊の稀金属-白雲母ペグマタイト鉱床) に、ケイブイ地塊の場合と違って紅柱石-珪線石型累帯変成作用が現われている南フィンランド褶曲区部分では稀金属ペグマタイトに変わっている。

そのほか、述べておかねばならないのは、原生代中期から、おそらく原生代前期から、変成作用の地熱条件の点で特殊なエクロジヤイト片岩コンプレックスが形成され始め、このコンプレックスが金紅石鉱床や粒状石英生成体のような有用鉱床の生成・分布を規制していることである。

自体の構造地質的特徴やその中に現われている広域変成作用の性質によれば、原生代後期の活変動帯は顕生代の場合と基本的な差があまり認められず、このことが両者のメタロジェニックな類似性を左右している。同時に原生代後期は先カンブリア紀初期から受け継いだ幾つかの特質を備えており、このことが原生代後期鉱床生成輪廻を独立させる前提となっている。

この時代のパラ変成鉱床の中でとくに注目に値するのは、シベリア卓状地南縁部リーフェイ期を代表するゴンドイト統のものである。この時代における Iron formation の役割は一般的にいうと低下するが、たとえばハンカイ山塊の場合 (MISHKIN, 1969) のように、多くの地域にはこの時代の含鉄珪質岩層が知られている。原生代中期にもハンカイ山塊には安定地域の堆積層群が現われ、この層群に金およびアルミナ資源の変堆積鉱床と変デストラクション鉱床が随伴することもある。

緑色片岩相条件下で広範囲にわたって変成されたリーフェイ期火山源層と陸源層の広い発達低品位レオ変成金鉱床の存在を支配し、その浸食と再沈殿の作用がシベリア卓状地南縁部のリーフェイ期緑色片岩層分布区に知られているような砂金鉱床を作っている。パイカル山岳区に属する (BURYAK, LETNIKOV, 1970)。

先カンブリア紀後期には、熱水-交代オルソ変成鉱床・レオ変成鉱床-鉛-亜鉛鉱床 (エニセイ山脈-Prosn'yakov, Volodin, 1962)、金-硫化物鉱床 (南天山山脈-Gar'kovets, 1969) その他の鉱床の形成を支配した紅柱石-珪線石型および藍晶石-珪線石型累帯変成コンプレックスが生じている。緑色片岩相ダイアフトレシスが現われた変動帯には、成因的によく似た硫化物鉱床-ウクライナ楯状地バザブ

ルーク鉱床生成区 (NIKOL'SKII, YEFIMOV, 1967) が生成している。また、リャピン複背斜の水晶鉱床群の形成 (SOKOLOV ほか, 1972) に大きな役割を果たしたのも、緑色片岩相の後退変成作用である。

原生代後期鉱床生成輪廻の時代における変成帯の潜在的なペグマタイト胚胎性は、Yu. M. SOKOLOV (1970) の見解によると、この時代の末期にソ連最大のマーマ白雲母鉱床生成区の鉱床が生じているものの、全体としてはおそらく低下しているに違いない。V. A. GLEBOVITSKII の見解によれば、マーマ変成帯の地質年代とマーマ鉱床生成区の地質年代は急増し、雲母ペグマタイトの分布を規制している藍晶石型変成作用はウドカン系の変成作用と同時期のもので、 $1,800 \times 10^6$ 年以上も前に現われている。 $A_2 \cdot A_3 \cdot AB$ 相系の条件下で転移した変成帯には、たとえばシベリア南部パイカリーズ累帯コンプレックス中に認められるような、稀金属ペグマタイトおよび稀金属-白雲母ペグマタイトが形成されている。

原生代後期鉱床生成輪廻は、ここでは割愛するが、しかし当該資料が上述の資料と併せてこの時代に関わりある鉱床の変成源タイプの多様性を証明している。さらに多数の鉱床の形成をもって大きな特徴とし、それらの鉱床は変成過程の差異と対照性、活変動帯の高度な構造分化と地熱分化の度合を反映している。

結 び

1. 大陸型地殻形成史中におけるソ連の変成帯のメタロジェニックな進化は、全体として、非可逆性を備えている。
2. 変成帯の構造的な発達上の特徴とそのミネラジェニーの間には時間的および空間的相関性が認められ、その相関性はメタロジェニック・フォーメーションの変化に現われている。
3. 始生代輪廻群の場合を特徴づけているのが主としてパラ変成鉱床であり、原生代前期輪廻と原生代中期輪廻ではパラ変成鉱床とともにレオ変成鉱床が大きな意義を有するようになり、先カンブリア紀後期末、原生代中期輪廻と原生代後期輪廻で主要な意義を備えているのがレオ変成鉱床とオルソ変成鉱床である。
4. 先カンブリア紀と顕生代のミネラジェニーの主な相違点は、前者の場合に地殻の発達に際して鉱物生成系 (鉱床) の物質組成が徐々に変化し、複雑化していることにある。そのほか、先カンブリア紀における主要な鉱床生成要素としては交代過程を随伴した広域変成作用と超変成作用が、また高温交代作用も登場する。鉱石成分の来源となっているのは変成作用を受けた岩石そのものであり、上部マントルでもある。

文 献

- BELEVTSYEV Ya. N., KALYAEV G. I., MALYAVKO G. I. and others (1960) ウクライナ鉄鉱床生成区のメタロジェニー。論文集「Metallogeny of pre-cambrian shield and of older mobile zone」, Academy of Science UkSSR.
- BONDARENKO L. P., DAGELAIKII B. B. (1968) コラ半島中部地域始生代岩石の地質と変成。NAUKA.
- BURYAK V. A., LETNIKOV F. A. (1970) 金鉱化作用の発達における広域変成過程と超変成過程の役割について。論文集「Problems of geology of gold deposits」, Tomsk.
- VELIKOSLAVINSKII D. A., SOKOLOV Yu. M., GLEBOVITSKII V. A. (1968) 造進変成作用の累帯性と変成帯のメタロジェニック特性。Report of IGC, XXIII, Session. Moskau.
- VIZIRYAKIN N. I. (1970) クルスク変成系岩石の交代作用の特徴とそのベルゴロート鉄鉱生成域における鉱床との関係。Materials to geology and useful minerals of central areas of European part, USSR.: issue 6. Moskau.
- VINOGRADOV A. P., TUGARINOV A. I. (1961) 先カンブリア紀の年代学的研究。Geokhimiya, No. 9.
- GAR'KOVETS V. G. (1969) ウズベーク共和国における先古生代鉱床。Sovetskaya geologiya, No. 12.
- Геохронологические рубежи и геологическая эволюция Балтийского щита "Наука". 1972.
- Геохронология Сибирской платформы и ее складчатого обрамления "Наука". 1968.

- GERLING E. K., MASLENIKOV V. A. and others (1973) ペーチェンガ地域硫化物鉱床の年代学に関する新見見. Theses of report of XVIII session, comission on the absolute age determination of geological formations. Dnepropetrovsk.
- GLEBOVITSKII V. A. (1971) 変成帯の相系と進化. 論文集「Metamorphic zones of USSR」. 「Nauka」.
- GLEBOVITSKII V. A. (1973) 活変動区における変成過程の進化の問題. 「Nauka」. Leningrad.
- GLEBOVITSKII V. A., TURCHENKO S. I. (1970) バルト楕状地原生活変動帯のメタロジェニーの諸問題. 論文集「Regional metamorphism and metamorphogenic ore-formation」 「Nauka」.
- GORZHEVSKII D. I., KOZERENKO V. N. (1964) 地殻の地質学的・メタロジェニー的発達非可逆的性質について. 論文集「Tectonics, magmatism and distribution regularities of ore deposits」 「Nauka」, Moskow.
- GORZHEVSKII D. I., KOZERENKO V. N. (1965) Relation of endogenic ore-formation with magmatism and metamorphism. 「Nedra」, Moskow.
- Гранулитовая фация метаморфизма 「Nauka」 Л., 1972.
- DOBRETsov N. L., REVERDATTO V. V. and others (1970) 変成相. 「Nedra」, Moskow.
- DOMAREV V. S. (1968) 地史的地質生成体としての鉱石フォーメーション. Geologiya rudnykh mestorozhdenii, No. 4.
- DRUGOVA G. M., KLIMOV L. V. and others (1959) アルダン鉱業地域の先カンブリア紀地質. Report of LAGED, issue 8.
- KRATTS K. O., DEDEEV V. A. and others (1973) 古期卓状地盤褶曲構造形成の主要段階とその特異点. 論文集「Tectonics of older platform basements」, 「Nauka」.
- KRATTS K. O., GLEBOVITSKII V. A. (1972) ソ連の変成帯. : 論文集「Geology of pre-cambrian age」, Report of IGC, XXIV session. reports of Soviet geologists; 「Nauka」 Leningrad.
- KRATTS K. O., CHERNOV V. M. (1970) 原生代前期——地殻発達上の最大の境界. 論文集「Petrology and structural analysis of crystalline formations」, 「Nauka」, Leningrad.
- LAZ'KO YE. M., KIRILYUK V. P. and others (1972) 高変成先カンブリア系下部系のフォーメーション上の特徴と年代区分. 論文集「Geology of pre-ambrian age」. Report of IGC, XXIV session. 「Nauka」, Leningrad.
- MIKHAILOV D. A. (1973) 先カンブリア系コンプレックス中のマグネシア-カルシウム含鉄交代岩: 「Nauka」.
- MIKHAILOV D. A., LEVCHENKOV O. V. (1971) アルダン地方先カンブリア紀における Fe-Mg-Ca 交代過程と広域変成作用の時代的相关関係について. 論文集「Metamorphic zones of USSR」, 「Nauka」 Leningrad.
- MISHKIN M. A. (1969) 沿海州ハンカイ山塊先カンブリア系変成コンプレックスの岩石学的研究. 「Nauka」, Moskow.
- MURATOV M. V. (1965) 地殻の主要な発達段階と褶曲期. Geotektonika, No. 1.
- NEELOV A. N. (1968) シベリア卓状地の古地体構造と先カンブリア紀活変動区発達諸規則性. Report of IGC, XXIII session. Reports of soviet geologists, 「Nedra」.
- NEELOV A. N., GLEBOVITSKII V. A. and others (1971) 東シベリア南東部変成帯の進化. 論文集「Metamorphic zones of USSR」, 「Nauka」, Leningrad.
- NIKOL'SKII A. P., YEFIMOV A. N. (1967) ウクライナ楕状地東部の地質学的・メタロジェニー的概要. Report of VSEGEI, New series, vol. 37.
- OZEROV K. N., BYKHOVER N. A. (1936) ヤクート自治共和国ペルフネ=チンプトン区のコランダム鉱床と藍晶石鉱床. Report of TsNIGRI, issue 82.
- POLKANOV A. A., GERLING E. K. (1961) バルト楕状地およびその褶曲縁部の地質年代と地質学的進化: Laboratory of pre-cambrian geology, Problems of geochronology and geology, issue 12,

ソ連の先カンブリア系中における変成源鉱床の進化の特徴 (岸本文男訳)

Publisher. Academy of Science, USSR., Moskow-Leningrad.

- PROSNYAKOV M. N., VOLODIN R. N. (1962) ゴレーフ鉛・亜鉛鉱床の諸特徴. Report of TsNIGRI, issue 43.
- ROZHKOV I. S., PISEMSKII G. V. and others (1971) クリボイ=ログ地域産鉄鉱の含金性について. Doklady of Academy Science USSR, vol. 196, No. 4.
- SALOP L. I. (1972) 先カンブリア系の層序規準. 論文集「Geology of pre-cambrian age». Report of IGC, XXIV session, "Nauka", Leningrad.
- SAL'YE M. Ye., GORDIENKO V. V. and other (1971) バルト楕状地東部地域のペグマタイトのメタロジエニク=フォーメーション. 論文集「Bases of scientific prognosis of metal and nonmetal ore deposits». VSEGEI, Leningrad.
- SAL'YE M. Ye., DUK V. L. and other (1972) アルダン地方先カンブリア系中の可採金雲母生成条件: 「Metamorphogenic ore-formations». part II, "Naukova dumka", Kiev.
- SEMENENKO N. P. (1962) 先カンブリア紀メタロジエニー. Sovetskaya geologiya, No. 2.
- SEMENOV V. I. (1965) ソ連の褶曲区における主要鉱床生成区タイプの分類原則と特徴. Report of IGC, XXII session, problem 16.
- SMIRNOV V. I. (1963) メタロジエニー概論. Gosgeoltekhizdat, Moskow.
- SOKOLOV Yu. M. (1970) 変成源白雲母ペグマタイト. "Nauka", Leningrad.
- SOKOLOV Yu. M., GLEBOVITSKII V. A. and others (1972) ソ連の先カンブリア紀変成帯発達史における鉱床生成輪廻. 論文集「Summary maps and general problems of metamorphism», part II, Report of all union symposium, Novosibirsk.
- TVALCHRELIDZE G. A. (1970) 地球の主要な鉱床生成期について. Geologiya rudnykh mestorozhdenii, No. 1.
- TUGARINOV A. I. (1956) 先カンブリア紀内の鉱床生成期. Izvestiya of Academy Science, USSR, series geologiya, No. 8.
- TUGARINOV A. I., VOITKEVICH G. V. (1970) 大陸の先カンブリア紀年代学. "Nedra", Moskow.
- TURCHENKO S. I. (1971) 北カレリア地方の硫化鉄鉱床とその広域変成過程との関係. Proceeding of Leningrad naturalist society, vol. 77-80, issue 1.
- TURCHENKO S. I., YEFIMOV M. M. (1972) カンダラークシャ=コルビク グラニュライト相コンプレックスの変成源硫化物鉱床(ロシア楕状地の金属鉱床胚胎性の予測に関連して). 論文集「Geology, formation analysis, petrology and metallogenic specialization of crystalline formations of Russian platform», Voronezh.

—以上すべて露文—