

地質学の現状と将来の主要な発展方向 (その 2)*

L. V. Pustovalov

矢 部 之 男 訳

地質学における理論と実際とのギャップおよびそれがもたらす結果について

上に述べたことからわかるように、地質学において次のような矛盾した状態が作りだされてきた。すなわち、太陽の外成エネルギーのもとで地表において形成され、あるいは形成された堆積性鉱物資源を主として用いる面に実践的努力が向けられながらも、地質学における科学的思考は別の側面—主として地下深部の内成（火成過程）過程の研究に向けられてきた。理論と実践との著しいギャップを感じざるを得ない。これは全世界における現代地質学の特質であり、その歴史的な一定の発展段階を反映するものである。残念ながらわがソ連邦においても同様な事情がみられる。

地質理論と探鉱作業とのギャップは当然、有用資源鉱床の予知探鉱分野における実践活動にマイナスの影響を与えずにはおかない。

鉱物資源の新鉱床を探索し発見するうえで、現在行なわれている地質調査の重要性を否定することは、もちろん馬鹿げたことである。これはソ連政権になって以来、地質学によつてわが国に巨大なカリ塩鉱床、新しい鉄鉱床（クルスク磁気異常地域、アンガラ・ピツキー鉄鉱区、アルダン鉄鉱区、その他）や銅鉱床（チチンスク地域、クラスノヤルスク地域など）のほか、ダイヤモンド、チタン、アルミニウム、燐灰石、その他多くの鉱床が発見された、ということをおいだけいただければ充分である。ソ連邦の確固たる鉱物原料基地を作りだしたこれらの発見は、すべてわが国の地質研究機関で行なわれた研究活動と密接に関連しながら実施された広大な地域の地質構造の研究成果に基づくものである。

堆積性有用資源の研究において、わが国の地質学者がもたらした偉大な成果は周知のところである。すなわち、Ya. V. サモイロフ、A. V. カザコフ、B. M. ヒンメルハルプ、などの燐灰土に関する研究、P. I. プレアブラジェンスキー、A. A. イワノフ、M. P. フィーゲル、M. G. ワリャシェンコ、Ya. Ya. ヤルジェンスキーの岩塩の研究、S. F. マリャフキン、A. K. グラドコフスキーとその協同者らが行なつたボーキサイトの研究、M. F. ビクロフ、I. I. ギンズブルグ、その他の人々が行なつた風化殻とそれに伴う有用資源の研究のほか、Yu. A. ビリピン、I. S. ロジコフ、V. S. プロヒモフ、N. A. シーロが行なつた漂砂鉱床の研究が有名である。可燃性生物源岩 (caustbiolith) の研究の分野においても少なからぬ成果があげられてきたし、またあげられている (I. M. グープキン、P. I. スチエパーノフ、Yu. A. ジェムチュジュニコフ、など)。堆積過程や堆積性有用資源を知るために行なわれた上述の研究やそのほかの研究者によつて行なわれた多くの研究は、わが国の地質学のほこりをなすものである。にもかかわらず、もしも上に述べたような地質学にみられる理論と実践とのギャップが存在せず、地質学における支配的な根本方針が鉱物資源の利用という実践に合致したものであつたならば、わが国の地質学者の献身的な努力もはるかに実り多いものとなつたに違いない。

* Л. В. Пустовалов : О состоянии и основных направлениях дальнейшего развития геологической науки, Советская геология, No 8, p. 3-35, 1964

国内・国外をとわず、新鉱床の発見に充分な力となり得ない地質学の分野における研究結果にしばしば不満が表明されている。新鉱床は偶然か、あるいはほとんど正確な予測なしに、すなわち、充分正確な科学的予言なしに広大な地域にわたって地質、物探、あるいは試錐作業を全面的に行なうことにより、発見されるケースがあまりにも多い。これはほかならぬ現在、地質学の分野で支配的な火成過程（内成過程）の優位という指導理念（とくに、V. V. ペロソフの論文「参考文献、6」に端的に表われている）が、地質学者の創意を地質学においてもつとも有効、かつ生産的であり効果的な役割りを果たすべき堆積岩や堆積鉱床の生成という分野から引き離している、という事実と密接な関連をもっている。

いうまでもなく、堆積性有用資源の性格やそれらの組成、生成および分布の規則性は、古地理条件、古気候条件、古水理化学条件、生物条件、その他の地質条件に規制されている。これらの諸条件を明らかにすることなくして、堆積性有用資源の予知を成功させることはできない。それと同時に、これらの諸条件は地表の外成的地質過程と現象を認識する際に適用される方法によつてのみ明らかにすることができる。ある種の研究者、とくにV. V. ペロソフ（参考文献、6）らが行なっている深部内成過程の研究という主張は、堆積性有用資源の予知の助けとなり得るものではなく、したがって、もつとも重要な成因型の有用鉱床の分布に関する予知理論の発展をうながし得ないものである。研究を主として深部内成過程に向けることは、地球表層部とその堆積被覆層——鉱物資源の主要な供給源をなす地層圏——の研究から地質学者の注目を脇路にそらすことになる。

火成過程が鉱化作用に主要な役割りを演じているかのようにみならず、地質学界に広く流布している理念が、地質学者の実践活動に悪影響を及ぼし、ときには間違つた方向づけをした、ということを示す多数の例をあげることができる。

前世紀末から今世紀初頭にかけて、ジルコニウムに対する需要が始めて生じた際に、その探査の目は、まず始めにペグマタイトに向けられた。このような探鉱指針はいうまでもなく、当時支配的であつた諸種の鉱床の生成にマグマが決定的な役割りを演じているという考えに由来するものである。例えば、明らかにマグマ源説の影響のもとでジルコニウムの最初の原料源になつたのは、革命前のロシア（ウラル）や外国（ノースカロライナ、その他）においても火成鉱床であつた。ジルコニウムを含むペグマタイト鉱床がかなり広範に分布するという事実は、ほかならぬ火成岩中にジルコニウム資源を求めるといふ方針の正しさを支持しているかのようにみえた。しかしながら、その後、この方針が間違いで実際的な要求を満し得ないということが明らかになつた。というのは、ペグマタイト性のジルコニウム鉱床は規模が小さいうえ、開発条件が複雑なため（鉱脈）である。その後、このタイプの鉱床は実践によつて淘汰され見捨てられた。稼行価値のあるジルコニウム原料はペグマチストが予想しなかつた漂砂外成鉱床に伴うことが明らかになつた。このことから、ジルコニウム原料の稼行鉱床の探査においてマグマ源説は、探鉱家を間違つた路に方向づけていた。ということが容易にわかるであろう。

第二の例はチタン鉱に関するものである。チタンは1791年にイギリスの化学者、U. グレゴールによつて始めてメナカン村（イギリス、コーンウォール）近傍に産する黒色のイルメナイト含有砂中で発見された。すなわち、チタンは、現在ではほとんどが稼行の対象となつている成因型の地層から発見されたのである。しかしながら、第一次世界大戦において、煙幕の利用と特殊合金の製造からんでこの金属に対する関心が高まり、その原料源を求めるといふ課題が地質学者に課された際に、またもや火成岩類がまず第一に原料源として注目された。

“稼行価値をもち得るのは金紅石が50kgにも達する大きな結晶として産するようなごく少数のはんれい岩質ペグマタイトだけである”，とドイツの学者H. ベルク（参考文献、7, p. 178）が最近書いている。彼は漂砂鉱床から当時チタン鉱物がすでに採掘されている、ということに気づきながらも含チタン漂砂鉱床に懐疑的な評価を下し、次のような指摘を行なつている。“チタンの大鉱床は実際には地球上の各地に大量に産する含チタン鉄鉱の火成晶出物である……”。

第一次世界大戦当時、ロシア科学アカデミー付属のチタンに関する特別委員会もまた火成鉍床、すなわち、ウラルのヴィシユネフおよびイルメンスク山の含チタンベグマタイト脈の探査、開発に技術者をさし向けた。その後数年にわたる実践活動を通じて、これらの予想がくつがえされ、主要なチタン原料源を火成岩中に求めようとする方針は誤りである、ということが明らかとなった。大部分のチタン原料は、現在では鉍床専門家がここでも予見せず、そのうちのある種の人々（例えば、上にあげた H. ベルク）が直接否定した外成鉍床——漂砂鉍床から採掘されている、ということは周知のとおりである。

ごく最近に出版されたチタン鉍床の生成と分布の規則性を論じた書籍のなかで、チタンの火成鉍床に関する問題についてチタンの外成漂砂鉍床よりも3倍も多くページ数がさかれている、ということは特筆に値する（参考文献、31, p. 65~158, 同文献、p. 159~189）。このような事情は伝統の力によるものとしかいいない。

最後に第三の例としてあげられるのは、ごく最近のもので核原料——ウラン鉍の探鉱・開発に関連するものである。この問題の論議に十分な客観性をもたせるために、アメリカの核原料に関する専門家、ミシガン大学教授 E. U. ハイニンリッヒの証言を引用することにしよう。彼の放射性鉍物原料の鉍物と地質に関する詳細な著作が、最近ロシア語に翻訳された。そこでは、次のように書かれている（参考文献、54, p. 159）。“今世紀の40年代後半から現在に至る期間に多くの国々の地質学者によって、先例のない勢いで放射性鉍物、とくにウラン鉍床の調査計画が実施された。たった一つの金属が地質学者や鉍物学者の注目をこれほどあびたことはかつてなかった。

かつてはウランの濃集には不適當だと考えられていた地域に、まったく新しいタイプの鉍床をも含んだ多数の鉍床が発見された。この新しいタイプの鉍床の多くは、ガイガーカウンターをもった無教育の山師によって発見された。彼らはウランの地質に関する知識が不足していたため、“不適當”な地域をさげようとする先入観にとらわれなかつたので、“ウランは汝の見出す所にあり”という原則にのつとつて探査を行なつた”。

周知のように、ここで E. U. ハイニンリッヒが述べている専門的地質学者によつてはウランは発見されず、地質の知識が不足していたお陰で“無教育な山師”によつて発見された“全く新しいタイプの”ウラン鉍床は堆積性外成鉍床である。火成岩類とそれに対応した鉍床に関して多くの誤つた概念をもつていた地質学の専門家は、堆積性ウラン鉍床の発達地域に背を向けようとする先入観を抱き、それを“不適當”な地域と考え、別の方面すなわち、火成岩に核原料を求めた。そこでは前にも述べたように、実は資本主義諸国の全ウラン埋蔵量の約10%しか濃集していなかつたのである。ここに深刻に反省すべき問題がある。注1)

次に掲げた表は非常に示唆に富んでいる。この表から資本主義諸国における鉍床のタイプ別ウラン埋蔵量の年別推移を知ることができる（参考文献、24）。

鉍床	1946年	1955年	1958年
マグマ源	92%	10	10
狭義の堆積性	8	15	25
含ウラン礫岩	—	75	25

ここでも、ジルコニウムやチタン鉍の場合に述べたと同じ規則性がみられる。ウラン鉍に対する需要が生じた際、その探鉱は専門的地質学者や鉍床の専門家にゆだねられた。彼らは火成

注1) これに関連して、たまたま思いだしたのは、鉍化作用に関する支配的な理論を考察した際に、アメリカ人のプレスコートが提示した次のような疑問である。“いつもの前提をもつよりはまったくの前提なしにより良質の鉍石をより大量に発見できないものであろうか？”（参考文献、64, p. 86~89）

鉍化作用が主導的な役割を演ずるという誤った伝統的な考え方から出発して火成鉍床の探鉍に努力を集中した。この結果、1946年当時には、外国で知られていたほとんどすべてのウラン鉍の埋蔵量、すなわち、その約92%は火成岩中に発見されていた。これは天然におけるウラン鉍の真の分布を反映したものではなくて、地質学者がイニシアティブをとって核原料を火成岩中に求めてはらった努力に対応していたにすぎない。“無教育な山師達”は鉍床専門家の期待に反して地層中に巨大なウランの稼行鉍床が存在することを明らかにした。当然の結果としてこれらの事実を考慮せざるを得なかつた。“指導理念”の影響ならぬこれらの事実の影響によって、新しいウラン鉍床の探鉍は堆積性外成ウラン鉍床に向けなおされた。その結果、わずか6年を経過した1955年にはすでに資本主義諸国におけるマグマ源ウラン鉍床の相対量は92%から10%に低下し、逆に堆積性ウラン鉍床の相対量は8%から90%にまで成長した（そのうち、狭義の堆積性ウラン鉍床は15%で、含ウラン礫岩は75%）。さらに3年を経過した1958年までは資本主義国における火成鉍床と堆積鉍床のウラン埋蔵量の分布は、そのままの比率を保っていたが、狭義の堆積性鉍床と含ウラン礫岩のなかに含まれるウラン鉍の埋蔵量の比率は狭義の堆積性鉍床の方に有利に展開した。

ここでは三つの例しかあげなかつた。しかしながら、その数をもつとふやすこともできる。しかし、これだけでも従来支配的だつたマグマ源説の破産と無力を証明するに充分である。

鉍床学の分野におけるマグマ源説は探鉍作業における成功をうながさなかつたばかりでなく、地質学者に誤った探鉍指針を与え、多額の国費の無駄使いをもたらし、新鉍床の発見を阻害し、したがって鉍物原料基地の拡大に有害な影響を及ぼしている。

このような条件の下では、鉍床学におけるマグマ源説に対する地質学者の態度は、単に地質専門家だけの興味の範囲にとどまらず、国家的意義をもっている。探鉍作業と国家の鉍物原料基地の拡大に投資される多額の経費を消費するにあたって、地質学者が何を指針とし、その指針の下にどれほど有効適切に探査を進めて行くか、ということは国家にとってはどうでもよいことではない。

1962年7月6日に開催されたソ連科学アカデミー幹部会とソ連地質地下資源保存省閣僚との合同会議において、地質学の現状と発展の見通しに関する問題が審議された際、アカデミー総裁 M. V. ケルディシュは、地質学の分野において著しい成果をあげ、その研究の欠陥を取りのぞくには、まず第一に、“事物の思想的側面を明確にすること”，すなわち、地質学者がその理論および実践活動において正しく準拠すべき正統な一般方針を規定することが必要であると述べている。

地殻の発展と鉍床の生成において内成（まず第一に、火成）過程の主導的役割を認めさせようとする地質学における支配的な一般方針は、明らかに理論的な面からも実践的な面からも正統化さるべきものではなく、地質学者の方針を誤らせることが多いので、根底から再検討しなおす必要がある。

主要な結論と実践的提案

当面の課題

この論文の内容はすべて、始めにあげた地質学界に広く受け入れられている見解、すなわち、有用資源の鉍床の完全な予知理論は、内成過程の発展の原因と法則の認識に立脚しなければならない、という主張（参考文献、6、p.19）の著しい誤りを指摘することに向けられている。

有用資源をうまく予知するには内成過程ばかりではなく、有用資源鉍床をもたらしたすべての地質過程の原因と法則性に関するわれわれの知識をさらに向上させることが必要である。

地質学の分野における正しい研究計画は多くの有用資源のおのおのについて、その実用上の価値を考慮しながら有用資源をもたらしたそれぞれの地質過程（外成過程、火成過程、変成過程）の研究に費やす努力と経費の合理的な配分を保障するものでなくてはならない。

比較的実用価値の低い有用資源をもたらした地質過程と地質現象の研究に法外な注意が払われているのに対して、有用鉱床の生成からみるとともに重要な過程と現象の研究が充分に行なわれていない、ということはまったく許し難いことである。残念ながら、現在の地質学の分野においては正にこのような事態が起きている。これは多くの地質学者が火成鉱化作用説に誤って一面的に傾倒していることと関連している。^{注2)}（“鉱化作用”という言葉を、これから後では金属・非金属鉱石の生成という意味に理解しておく）。

火成有用資源や火成一変成有用資源に関連した過程・現象の研究分野で設定される課題は、その専門家が定式化すべきものである。実際にはその主要な部分においてはこのような作業はすでに完成していると考えられることができる（参考文献、9）。

したがって、これから後では堆積岩（浅成）および堆積変成岩の研究分野に関連した課題を検討することにしてしよう。

まず第一に指摘しておきたいことは、いろいろな鉱物原料の主要な供給源をなしている堆積岩に広大な国土の75ないし80%が覆われているわが国において、唯一の創立後まもない、しかもはなはだ非力な専門研究機関——ソ連邦国家地質委員会所属の堆積有用資源研究室(LOPI)、しかないという状態をこれ以上放置することはできない。ソ連科学アカデミーの組織の中にも、また、共和国科学アカデミーの研究網にも現在のところ堆積性鉱床やそれをもたらした外成過程の研究を行なう専門研究所あるいはその他の独立の科学研究機関が一つも存在しない。それに対して、科学アカデミーの組織はもちろん、国家地質委員会のなかにも内成（火成）過程と内成鉱床の研究だけを主とする強力な研究機関がいくつもある。このような状態は正常とはいえない。

堆積性の地質過程と堆積性有用資源鉱床の研究を専門とする大きくしかも強大で設備のととのつた研究センターを創立する必要がある。

要するに、堆積性（および堆積—変成）鉱物原料が主導的な実践的意義をもつということを考慮しながら、堆積性有用資源と火成有用資源の現在における実践的意義に応じた地質研究機関網を設置すべきである。

火成過程の鉱化作用の役割りの著しい過大評価と堆積性鉱化作用の過小評価によつて、地質研究機関の研究計画がゆがめられ、その計画のなかでは鉱物資源の副次的な部分と関連する火成過程の研究を主題としたテーマが著しく幅を気かせているのに対して、大部分の稼行鉱物資源をもたらした堆積過程の研究をめざすテーマはまったくおざりにされている。このような事情によつて、多くの非常に重要な鉱物原料の研究手法と予知法の検討が阻害されている。これは許し難いものである。したがって、地質研究機関におけるこのような大きな欠陥を取りのぞく思いきった措置を早急にとる必要がある。

堆積性鉱化作用や造岩作用のすべての段階と特性を研究する活動は、堆積性鉱床の全面的かつ深く掘りさげた研究と同様に、著しく拡張する必要がある。このような研究は必要が生じた際に行きあたりばつたりに行なうのではなく、十分に検討された国家プランにのつとつて計画的に行なう必要がある。そのためには、よく検討された研究計画の立案と地質研究活動の適切な組織のほか、地質研究機関網を適切に配置する必要がある。

科学研究機関ばかりではなくて、若い専門家を養成する上級研究機関においても実践の要請に応じうるような十分な配慮が堆積岩類に払われていない。研究活動においても大学における地質学科の教育においても、有害な伝統の力によつて、国家にとりきわめて重要な鉱物原料を

注2) 鉱物原料の全収支において、副次的な意義しかもつていないマグマ源鉱床の研究に現在、不当に過大な注意が払われているという事情は、“鉱山地質”誌上で1962年に発表された全論文の80%以上がマグマ源有用資源の記載に費やされ、残りのわずか20%が堆積性有用資源と堆積—変成有用資源と鉱化作用の一般問題に関するものである、ということからもわかる。

保障する堆積鉱床や堆積岩に対して軽視する態度がみられるのは、まったく許し難い。そのため、非常に有能な地質学者の間においてすら、現在でも堆積岩に対する非常に不合理で誤った考えが広く流布している。^{注3)}

したがって、堆積岩類に対する地質学者の興味を高め、その認識を広め、堆積岩類や堆積性有用資源の研究分野に関する知識水準を向上させるためにエネルギー的な措置を取る必要がある。

探鉱作業に支出する国家の膨大な予算を考慮し、さらに堆積鉱床こそが種々の有用資源の大部分を供給しているという事実に注目しながら、次の点を強調しておきたい。すなわち、狭い内成的な観点からより広範な一般地質的観点、すなわち、そのなかで、“堆積的観点”が堆積性有用資源の重要な役割りにふさわしい地位を占め得るような観点到、地質学者の目を向けさせることは、単に狭い地質の専門分野に限られた意義ばかりではなく、国家的意義を有するものである。このような視点の転換は、地質研究者の養成や地質研究機関網やそのテーマの設定、探鉱作業の立案、予算配分などのような種々の分野に反映させる必要がある。

換言すれば、マグマ源（内成）説が実践的な面では明らかに被害を与えながらも、不当に異常発達をとげている地質学界にみられるこの異常な事態を改革するには、科学アカデミーや国家地質委員会を含む高等・中等専門教育省からソ連国家計画委員会にいたる各省庁の努力が必要である。

堆積性鉱化作用の研究を進展させ堆積性有用資源を始めとする各種の資源の鉱床の予知法を改善し、さらに地質学全体を進展させるうえでもつとも重要な意義をもつのは、これからごく簡単に述べるいくつかの非常に重要な理論上の問題を検討することである。

1) 堆積過程のエネルギー論上の問題は地殻全体の地史を正しく理解するうえで非常に重要な意義をもっている。この問題はすでに以前にふれたので（参考文献，37），ここではごく簡単に説明するだけに止めよう。

われわれの住む地球はそれを取囲む宇宙空間から孤立した天体ではない。逆に、地球は永い地史を通じて宇宙と絶えず相互作用をなし、太陽を始めとして宇宙から莫大なエネルギーを受けている。ほかならぬこのまったく現実的で非常に正確に検討されている外成エネルギー（仮想的な内成エネルギーではなく）によつて、堆積鉱床の生成過程を含むあらゆる堆積過程が行なわれてきたし、現在も行なわれている。

地球表層の堆積岩生成帯では全地球規模で、太陽エネルギー、その他の宇宙エネルギーが他の形のエネルギーに転換し、それが堆積物として蓄積される。

例えば、生物が関与すると太陽エネルギーを基にして有機物の広域にわたる堆積が生じ、過去の地質時代に太陽が放射し、地球が受取ったエネルギーの一部がその後石炭や石油、ガスとして多量に蓄えられる。現在でも同様の方法によつて、泥炭が生ずる際に太陽エネルギーが蓄積される。

同じ太陽エネルギーに基づいて、塊状岩石が破壊され、分散系、とくにいたるところに分布する細粒の粘土質岩に変わる。この粘土質岩は堆積岩によつて蓄積される転換宇宙エネルギー

注3) 専門の地質の文献中で、いまだに見受けられるなげかわしい時代錯誤の多数の例の一つとして、次のような例をあげることができる。アカデミー会員、A. G. ベチェフチンの編集によつてドイツ語から翻訳された P. ランドール（参考文献，41）の著作が出版された。その中には編集者側から何らの注釈も付けずに、次のようなことが示されている。“移行型の鉱床が広く発達するために、火成鉱床の一般的分類にきつつかえが生じた場合、分類の基本原則を外成鉱床に求めようとするのは無駄である……。堆積鉱床をそれぞれのタイプに分ける場合、個々の要因の変異の任意性に著しく左右される。そのため火成鉱床を考察する場合よりも系統化しにくいあるいはまったく系統化できないような鉱床がはるかに多くでてくるであろう”（p. 33~34）。このような“主張”にはほとんど釈明を必要としないだろう。

でもある大量の表面エネルギーをもっている。

堆積岩生成帯では、珪酸塩が結晶化学的な変化を受けてアルミニウムイオンと酸素イオンとの間の大きなイオン距離を有するカオリン型の結晶格子を生じながら、大量の太陽エネルギーを蓄積する、ということを推定する充分な根拠がある〔V. I. レベジェフ(参考文献, 26, 27, 28)と N. V. ペーロフ(参考文献, 4)〕。

これらのことから、堆積過程を地球の地史全体を通じて継続してきた地殻による宇宙エネルギーの強力な蓄積過程とみなさざるをえない。

堆積過程において地表の有機物や鉱物により蓄積された宇宙エネルギー、主として、太陽エネルギーは、その後堆積岩とともに地層が埋没し得る深さまで運び込まれる。地層は永い地球の歴史を通じて、地球が受取つた大量の宇宙エネルギーの担い手とみなさねばならない。

いろいろな種類の蓄積された太陽エネルギーを有するこの堆積被覆層こそが、事実上唯一の人類が利用し得るエネルギー資源の源であるに対して、エネルギー資源の供給者として火成岩が果す役割りはまったく取るに足りないにもかかわらず(第1図参照)、多くの地質学者は何らの有力な根拠もなしに、これまで火成過程のなかに地殻中で起こる大部分の地質過程の原因を求めようとしてきた、という事実はあながち偶然ではない。

地下深部の比較的高圧な条件下では、地表において過去の堆積物によつて蓄積された太陽エネルギーは、開放されて熱エネルギーに転換することが可能となる。地下深部における蓄積された太陽エネルギーの解放過程は、可燃性生物源岩の部分的酸化作用や分散物質の粗粒化と表面エネルギーのレベル低下を伴う分散系の再結晶の結果であり、さらにそれは地殻深部の熱力学的な条件に適応して、アルミニウムと酸素の小さなイオン間隔をもつ新しい珪酸塩格子を生ずる新たな結晶化学的転化の結果でもある。

N. V. ペーロフの計算(参考文献, 4)によれば、一部の堆積岩類が担っているエネルギー量だけで地殻中で進行するすべての大規模な地質過程(変成現象; 岩石の再熔融現象; アナテクシスとパリンジェネシス、つまり、地殻中における“二次的”マグマ溜りの出現; 火山現象; 地殻変動; 地殻の深部でいたるところに存在する熱水、など)を引き起すに充分である(参考文献 37, p. 37~47)。

宇宙エネルギーの強力な捕獲装置としての地球の堆積被覆層の意義と宇宙エネルギーの地下深部への運搬者としての堆積岩の意義が明らかになった現在、地殻中で進行する地質過程のエネルギー源を地球の“内部”熱(内成熟)に求める必要はない。^{注4)} われわれの生活の舞台となつている地殻は“地球物理学的深度”よりは宇宙により近く、いわば、岩圈表層部は中間に介在する岩石の遮蔽幕によつてその地球物理学的深度の熱エネルギー作用から保護されている。したがつて、地球表層部にとつてもつとも重要な意義をもっているのは宇宙エネルギーであり、内部エネルギーではない。

ついでに指摘しておきたいことは、地殻深部が宇宙エネルギーを受取るのは堆積岩の生成とそれの地下深部への埋没という手段のみによるのではない、ということである。最近の物理学や天文学のデータにより、ある種の宇宙線は地下数 km まで透過し得る、ということが証明されている。現在のところ、それらの宇宙線がそこでどのような働きをするかということとはわかっていないが、将来地球のエネルギー収支を研究する際には、これらの輻射作用の影響も考慮しなければならなくなるだろう。

以上述べたことから、堆積過程と堆積岩のエネルギー論上の問題は、地質学の核心にふれる理論上の問題を解決するに当つて、第一級の意義をもっているということが容易にわかるであろう。ここでは、多様で複雑な作業が待っている。例えば、太陽エネルギーの貯蔵庫として

注4) 地球の全エネルギー収支のなかで、放射性崩壊の果す役割りは広く知られているところである。しかしながら、この重要な問題はわれわれの考察のラチ外にある。

の珪酸塩に関する V. I. レベジェフや N. V. ペーロフらの考えを検証するための実験的研究も、当然行なわなくてはならない。これらの研究結果によつて、地殻の熱レジーム (thermal regime) の原因や造構過程、火成過程、変成過程の原因のような重要で論議の多い問題に関して、それぞれの解釈が得られるであろう。

2) 地殻の熱レジームに関する比較的範囲は狭いけれども、非常に重要な問題は、堆積過程のエネルギー論上の問題と密接な関連をもっている。この問題を解決するには、タイプの異なる岩石（堆積岩、火成岩、変成岩）が発達し、地質条件の異なるできるだけ多くの地点で深さによる地熱勾配の組織的な研究を行なう必要がある。この作業の総決算として地殻の熱レジームを規制する原因に関する既存の仮説を検証すれば、この分野におけるより根拠のある考えを編み出すことができるはずである。

この作業に欠くことのできないのは、いろいろな地域を構成する岩石の性質と地熱勾配との関連の解明である。

3) 深部水理地質の問題もまたエネルギー論上の問題と関連している。これを解明するには地下深部における熱水や過熱蒸気の分布やレジームの研究を組織し、実施する必要がある。この分野における研究に絶対欠かすことのできないのは、金属を含むいわゆる微量元素の同定を伴う深部熱水や過熱蒸気の化学組成の精密、かつ完全な研究である。それによつて、鉱石成分を含む各種の成分の移動に際する地下深部熱水と過熱蒸気とが果たす役割（それがマグマ溜りと関連があるなしにかかわらず）と広域にわたり分布する深部熱水の鉱化作用のうえでの意義について判断し得る資料が蓄積されるに違いない。

ここで指摘しておきたいことは、地殻中で進行する鉱化過程を正しく理解するうえで、重要な意義を有する深部熱水の化学的性質の研究がいまのところほとんど行なわれていない、ということである。

4) 今後、検討さるべき非常に重要な問題は、堆積性（機械的および化学的）物質の分化の問題である。堆積分化という考えは約25年ほど前に筆者が打出し（参考文献, 35）、一時、それはきびしい批判をうけ、“非科学的”だとさえ宣告されたことがあつた（参考文献, 47, p. 118）。ほぼ、25年が経過したいま、堆積岩生成帯における物質分化という思想は、みごとに時の試練を耐え抜いてきた、ということを確認をもつていうことができる。もつとも尖鋭な批判者であつた N. M. ストラーホフ自身でさえ、堆積分化という考えを展開し、改良を加えているが、この分野における既存の論文を必ずしも引用していない（参考文献, 48）。

堆積分化の現象は、現在、いろいろな種類の地質調査を行なう際に、ソ連においてもまた外国においても広く考慮されている（例えば参考文献, 14, 62, その他多数の論文参照）。ノルウェーの研究者 T. F. パート（参考文献, 3）は火成岩を含む地殻中に観察されるすべての種類の岩石を堆積分化とその後に引続く一部の堆積岩の再熔融の結果とみなしている（“われわれが今日観察しているすべての岩石はかつては堆積物であつた……。堆積分化は強力で極端なケースを作り出すことがある……。しかし、火成岩の多様性は堆積分化現象などを考慮することなしには理解することは困難である……”）（参考文献, 3, p. 298~）注5)。A. I. トゥガリノフ（参考文献, 51, p. 156）はごく最近に堆積分化現象により鉱床区が発生するという考えを提唱した（“地球上の鉱床区の多様性を規制する主要な要因は、地表の物質分化過程である……”）。

地質学上のもつとも重要な問題にふれている T. F. パートと A. I. トゥガリノフの考えについて議論することができるが、ここで指摘しておかなければならないことは、これらの考えは説得力のある新しい事実資料に立脚したものであつて、非常に慎重な取り扱いと今後の検討に値する、ということである。

注5) “マグマは初生的なものではなく、それぞれの場所にその都度発生する溶融体であり”，“すべてのマグマは熔融の産物である”と考えている V. A. ペイベ（参考文献, 32, p. 50~51）は本質的にはマグマの起源に関して非常に近い考えをもっている。

どのような堆積分化の過程であれ、化学的あるいは碎屑性のいかんをとわず、これが堆積性有用鉱床を含む堆積岩の組成と分布を規制するということはまったく疑う余地がない。

堆積分化の現われ方は多種多様で、物理化学的、気候学的、古地理学的、生物学的諸要因の複雑な組合せに左右される。温度条件、水素イオン濃度、あるいは塩分濃度のごくわずかの変化にあつても堆積分化過程は各種の異なつた現われ方をし、異なる鉱物資源を堆積させるような様々の堆積物が沈殿する。同様にごくわずかの水力学的条件の変化によつても各種の将来漂砂鉱床を構成する貴重な成分が沈殿したり、あるいは逆にけずられたりする。

堆積分化作用の一般的図式の作成から、異なる地質条件、とくに異なる層相条件の下での堆積分化の具体的な現われ方の研究へと移る必要がある。

堆積性有用資源の分布法則を解明する研究の成否を著しく左右するこの作業は、野外観察と特殊な実験により行なう必要がある。

5) 地化学相の特徴を研究する系統的な地質学的、実験的な作業を組織する必要がある。この地化学相の概念は1933年に著者が提唱したもので、A. E. フェルスマン（参考文献, 52, p. 282）、N. I. スピタルスキー（参考文献, 42, p. 92）らによつて活発な支持を受け、その後、G. I. テオドロビッチ（参考文献, 49, 50, その他）、L. A. グリャーエバ（参考文献, 21）らの多数の論文のなかで詳論されている。

地化学相に関連した諸問題を地質学のおよび実験的に検討するに当つては、異なる地化学的条件や物理化学的条件下で発生した堆積岩に特有な鉱物や化学元素の共生関係を正確にする必要がある。科学的に正確に確立された共生関係を利用することは、周知のように、地質学における主要で、かつ有効な予知法の一つである。いろいろな地化学相の共生関係の特性を知ることによつて、同じ相の岩石中にあるほかの比較的稀で貴重な鉱物や化学元素を発見する手掛りとして、広く分布する同生的堆積性鉱物や元素を利用することができるようになるであろう。

“微量”元素、稀土類元素、稀金属類などの絶えず増大する工業価値を考えた場合、地化学相の研究活動を組織するに当つては、これらの諸元素とある種の地化学相との関係にとくに注目する必要がある。

6) 堆積岩の二次的変化——後成作用、変成作用、花崗岩化作用、再熔融などの複雑な問題を全面的に検討することは、鉱化過程を正しく理解し、有用資源鉱床の予知を成功させるうえでとくに重要な意義をもっている。これらの現象の地質学上の意義や応用上の意義については、前にふれておいた通りである（参考文献, 37, 38）。

過去の堆積物の二次的変化の研究は、そのマグマ源および堆積源のいずれとも類似した特徴を有する、いわゆる取れん鉱床のような成因に問題のある多数の鉱床群の生成条件や分布を正しく理解するうえでとくに重要である（参考文献, 59, p. 83）。

鉱床はいつたん生じた後には永遠に固結しているものとか、あるいは周囲の媒質やその母岩から孤立した“もの自体”とみなすべきではない。逆にすべての鉱床は“生きて”おり、その地域の地史の発展につれて、それを取巻く地質環境の変化に伴つて絶えず新しい地質条件に適応しながら変化するものである。熱力学的条件（圧力、温度）の変化のほか、堆積鉱床の二次的変化の性格に影響を及ぼすのは水理地質学的条件とガス条件である。これらの諸条件は、さらにガスや水を通す岩石と非透過性の岩石の有無や分布のほか、それらの岩石の裂か、破碎状態やその地域の地質構造に支配される。鉱石成分の二次的再配分の強度とその順序は、その成分の移動距離と同様にこれらの元素の溶解度、地化学的移易性（移動能）のほか、その晶出しやすさなどにも左右される。最近いたるところで発見されている被圧性の深部熱水は、明らかに堆積岩の鉱石成分や非鉱石成分の二次的変化と移動の性質ならびに強度に著しい影響を及ぼしているに違いない。最後に、火成活動が発達する地域では大量の熱エネルギーと運動エネルギーを伴うマグマの侵入作用は、強力ではあるが局所的な変質作用をそれを取り巻く堆積岩に及ぼし、ときによつてはそれらの岩石の初生的特徴やその中に含まれている鉱石成分の組成

および分布を根本的に変える可能性がある。堆積岩や堆積鉱床の二次的変化を正しく理解し評価するには、これらすべての多様な要因を詳細に研究する必要がある。

堆積物の二次的変化現象は顕微鏡のスケールから広域的な規模に至るまでの非常に多様な規模をもち得ることを考慮する必要がある。例えば、初生的な堆積性鉱石物質のごくわずかな移動によつてさまざまな細脈、鉱脈や交代性微構造などが生じ得る。鉱床にみられるこの種の局部的な二次的変化はしばしば初生的な特徴と間違えられて、非常に誤つた成因的な結論やそれによつた予知上の結論がなされている。

初生的な堆積性の鉱石物質が長距離にわたつて移動する場合、鉱床の生成条件に関しては誤つた結論が下されることがさらに多い。このような場合、鉱石元素はその初生的な沈殿箇所から、かなり遠くに移動し、別の種類の構造的、岩相的なトラップに再排列して、構造的、岩相的、その他の二次的鉱化規制がかなりはつきりと現われ始める。これもまた、マグマ起源を示す初生的特徴として誤解されていることが多い。最近の鉱床、とくに堆積性核原料鉱床の研究成果は、鉱石物質の産状に対するその構造的、岩相的、その他の種類の規制が火成鉱床だけに特有なものではなく、それらは初生的堆積性鉱石物質の二次的な再配分の影響下で現われる場合の方が多く、鉱床をマグマ源とする有力な手掛りとはなり得ない、ということを示している。

上にあげた不完全なデータによつても、鉱化過程の後期段階(初期後生作用から強変成作用に至る)は、堆積性鉱石物質の組成(質)はもちろん、その産状についても堆積鉱床の初生的特徴を著しく変化させ、覆いかくすため、地質学者に誤つた成因的な結論をしばしば下させる、ということがはつきりとわかる。このような誤ちをさけるためには、堆積鉱床の二次的変化の現象について、全面的な詳しい研究を行なう必要がある。

上に述べた堆積性鉱化作用の研究分野における当面の活動のもっとも重要な方向以外に、古地理学、累層解析、古気候学、古地磁気学のほか、これまでに充分広く認められている堆積岩の他の研究領域における活動を著しく拡大する必要がある。

文 献

1. Абрамович Е. Л. Литология средне- и верхнедевонских отложений и генетические особенности свинцовых месторождений в доломитах Калкан-Ата. Автореф. канд. дисс. Среднеаз. ГУ. Ташкент, 1958.
2. Антропов П. Я. О некоторых положениях геологической науки в связи с семилетним планом развития народного хозяйства СССР. Изв. высш. уч. завед., геол. и разв., № 8, 1959, стр. 3—16.
3. Барт Т. Ф. В. Идеи о взаимоотношении осадочных и изверженных пород. сохимия, № 4, 1962, стр. 296—299.
4. Белов П. В. Геохимические аккумуляторы. Тр. Ин-та кристаллографии АН СССР, вып. 7. Изд. АН СССР, 1952.
5. Белоусов В. В. Основные вопросы геотектоники. Госгеолтехиздат, 1954.
6. Белоусов В. В. О путях развития геологической науки. Советская геология, № 1, 1963, стр. 11—28.
7. Берг Г. Геохимия месторождений полезных ископаемых. Гортопгеолиздат, 1937.
8. Бетехтин А. Г. К дискуссии по вопросу об осадочном происхождении некоторых месторождений свинца и цинка. Изв. АН СССР, сер. геол., № 2, 1954.
9. Бетехтин А. Г., Вольфсон Ф. И. и др. Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. Изд. АН СССР, 1958.
10. Бойко Т. Ф. Озеро Серлс и его литиеносные и вольфрамносные рассолы. В сб.: «Редкие элементы в осадочных и метаморфических породах». Изд. АН СССР, 1963.
11. Быков А. Д. Магний. В сб.: «Металлы в осадочных толщах». Изд. «Наука», 1964.
12. Быховер Н. А. О значении экзогенных рудных месторождений в общей

балансе минерального сырья. В сб.: «Геохимия, петрография и минералогия осадочных образований». Изд. АН СССР, 1963.

13. Бэтман А. М. Промышленные минеральные месторождения. Перевод с англ. Изд. иностр. лит., 1949.

14. Вассоевич Н. Б. Условия образования флиша. Гостоптехиздат, 1951.

15. Вахромеев С. А. Месторождения полезных ископаемых. Госгеолтехиздат. 1961.

16. Вернадский В. И. О значении радиогеологии для современной геологии. Тр. XVII сес. Межд. геол. конгр., т. I, Гортотгеолитдат, 1939, стр. 215—239.

17. Вольфсон Ф. И. и Лукин Л. И. Что такое рудные месторождения, где и как их искать? Госгеолтехиздат, 1962.

18. Вольфсон Ф. И. и Некрасов Е. М. Свинец и цинк. В сб.: «Металлы в осадочных толщах». Изд. «Наука», 1964.

19. Гиммельфарб Б. М. Агрономические руды и проблемы их геологического изучения. Вестник АН СССР, № 10, стр. 46—54.

20. Глазковский А. А. Никель. В сб.: «Металлы в осадочных толщах». Изд. «Наука», 1964.

21. Гуляева Л. А. Геохимические фации, окислительно-восстановительные обстановки и органическое вещество осадочных пород. Советская геология, сб. 47, 1955.

22. Заварицкий А. Н. О некоторых вопросах генезиса железорудных месторождений в связи с их классификацией. В сб.: «Труды Конференции по генезису руд железа, марганца, алюминия». Изв. АН СССР, 1937, стр. 67—74.

23. Задачи дальнейшего развития геологических наук в связи с созданием материально-технической базы коммунизма. Советская геология, № 1, 1963, стр. 3—10.

24. Зонтов Н. С. Новое в геологии и экономике сырьевой базы урана капиталистических стран. Атомная энергия, № 6, 1959, стр. 613—622.

25. Каганович С. Я. Цирконий и гафний. Изд. АН СССР, 1962.

26. Лебедев В. И. К проблеме каолинового ядра. Докл. АН СССР, 51, № 1, 1946.

27. Лебедев В. И. Об одном вероятном источнике сил тектонических движений в земной коре. Докл. АН СССР, 90, № 2, 1953.

28. Лебедев В. И. О возможном поглощении солнечной энергии кристаллическим веществом Земли. Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1954.

29. Лурье А. М. Особенности геологического строения и закономерности распределения свинцово-цинкового оруденения в районе Сумсарского месторождения. Автореф. канд. дисс., ИГЕМ АН СССР, 1960.

30. Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. Тр. I Всес. петрограф. совещ. Изд. АН СССР, 1955.

31. Малышев И. И. Закономерности образования и размещения месторождений титановых руд. Госгеолтехиздат, 1957.

32. Пейве А. В. Тектоника и магматизм. Изв. АН СССР, сер. геол., № 3, 1961, стр. 36—54.

33. Персиваль Ф. Мировые ресурсы железных руд. В сб.: «Железорудные месторождения мира», т. I. Под ред. Г. А. Соколова. Изд. иностр. лит., 1955.

34. Попов В. М. Медь. В сб.: «Металлы в осадочных толщах». Изд. «Наука». 1964.

35. Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород. Ч. 1 и 2. Гостоптехиздат, 1940.

36. Пустовалов Л. В. К вопросу о положении в науке об осадочных породах. Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1950, стр. 68—102.

37. Пустовалов Л. В. Вторичные изменения осадочных горных пород и их геологическое значение. Тр. ГИН АН СССР, вып. 5, 1956, стр. 5—52.

38. Пустовалов Л. В. Некоторые новые данные о месторождениях полезных ископаемых осадочного и осадочно-метаморфического происхождения. В сб.: «Очерки по металлогении осадочных пород». Изд. АН СССР, 1961, стр. 3—13.

39. Пустовалов Л. В. К вопросу о соотношении осадочных и магматогенных рудных концентраций. Бюлл. МОИП, отд. геол., № 2, 1964.
40. Пустовалов Л. В. и Холодов В. Н. Хром. В сб.: «Металлы в осадочных толщах». Изд. «Наука», 1964.
41. Рамдор П. Рудные минералы и их срastания. Перевод с немец., под ред. акад. А. Г. Бетехтина. Изд. иностр. лит., 1962.
42. Свитальский Н. И. Курс рудных месторождений. Т. II. Изд. ОНТИ, 1933.
43. Сердюченко Д. П. и Павлов В. А. Бор. В сб.: «Металлы в осадочных толщах». Изд. «Наука», 1964.
44. Смирнов В. И. Полезные ископаемые. Большая советская энциклопедия, т. 33, 1955.
45. Соколов А. С., Менковский М. А. и Борисов В. М. Самородная сера. Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 47, изд. 2-е. Госгеолтехиздат, 1961.
46. Стенли Р. Месторождения хромитов в Южной Родезии. Бюлл. научно-техн. информ., № 8 (42). Госгеолтехиздат, 1962, стр. 22—24.
47. Страхов Н. М. К вопросу об общей теории осадочного процесса. Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1950, стр. 103—146.
48. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. Т. I. Изд. АН СССР, 1960.
49. Теодорович Г. И. Осадочные геохимические фации. Бюлл. МОИП, отд. геол., т. 22, № 1, 1947.
50. Теодорович Г. И. Осадочные минералогическо-геохимические фации. В сб.: «Вопросы минералогии осадочных образований», 3 и 4. Изд. Львов. ун-та, 1956, стр. 39—56.
51. Тугаринов А. И. О причинах формирования рудных провинций. В сб.: «Химия земной коры», т. I (Труды геохимической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Вернадского). Изд. АН СССР, 1963, стр. 153—177.
52. Ферсман А. Е. Геохимия. Т. II. Изд. ОНТИ, 1934.
53. Ферсман А. Е. Геохимические параметры железа. Тр. Конф. по генезису руд железа, марганца и алюминия. Изд. АН СССР, 1937.
54. Хейнрих Э. У. Минералогия и геология радиоактивного минерального сырья. Перевод с англ. Изд. иностр. лит., 1962.
55. Чайковский В. К. Олово. В сб.: «Металлы в осадочных толщах». Изд. «Наука», 1964.
56. Шмудевич А. Д. Свинцово-цинковое оруденение в мезозойских отложениях Южного Узбекистана. Автореф. канд. дисс. САГУ, Ташкент, 1962.
57. Шнейдерхен Г. Генетическая классификация месторождения на геотектонической основе. В сб.: «Рудные регенерированные месторождения». Изд. иностр. лит., 1957, стр. 11—62.
58. Шнейдерхен Г. Успехи в познании вторично-гидротермальных и регенерированных месторождений. В сб.: «Рудные регенерированные месторождения». Изд. иностр. лит., 1957, стр. 63—81.
59. Шнейдерхен Г. Явления конвергенции магматических и осадочных месторождений. В сб.: «Рудные регенерированные месторождения». Изд. иностр. лит., 1957, стр. 82—95.
60. Яскульский С. Проблема классификации рудных месторождений на геотектонической основе. В сб.: «Рудные регенерированные месторождения». Изд. иностр. лит., 1957, стр. 96—107.
61. Koark H. J. Über einen diagonalschiteten Chromitdunit. Tscherm. miner. und petrogr. Mitt., 4, No 1—4, 1954.
62. Lombard A. Geologie sedimentaire les series marines. Paris. 1956.
63. Mero J. L. Potentialies of deep sea mining. «Mining J.», 258, N 6613, 1962, pp. 496—497.
64. Prescott B. Limestone Replacements Refute Theories of Origin. «Engng and Mining J.», vol. 147, № 4, 1946, pp. 86—89.