



南極大陸の地下資源

© 1984 ISIJ

西 山 孝*

Mineral Resources in Antarctica

Takashi NISHIYAMA

1. はじめに

資源涸渇がさしせまつた問題として認識されるにつれて、資源探査は世界のすみずみへ急激な拡がりを見せている。南極大陸も以前はもつばら知的興味の対象として存在していたが、最近では資源の探査、開発が話題にされるようになってきた。それではこの氷におおわれた大陸にどのような資源が眠り、将来開発される時がくるのであろうか。

いうまでもなく、南極大陸は厳しい自然条件のために、本格的な学術調査の行われた地域はごく限られている。したがって、南極大陸の地下資源の存在を考察するには少ないデータから鉱床地質学的手法による類推しかない。

以下にまず南極大陸全般を概観し、次に個々の資源について考えてみたい。

2. 南極大陸の概観

地理的にみると、南極大陸の面積は 1360 km² で、オーストラリアの 1.8 倍に相当し、大陸表面のほとんどが平均の厚さ 2000 m に達する氷でおおわれている。この南極大陸は南極横断山脈を境にして、ほぼ東経に位置する東南極大陸と西経に位置する西南極大陸に分けられ、両大陸は地形や地質の点で大きく異なっている (図 1)。すなわち、東南極ではゆるやかな楕状地から構成され、地質年代は古いのに対して、西南極では凹凸が多く、急峻で、氷がなくなるといくつかの島に分かれてしまい、地質年代は若い。

次に南極探検の歴史をみると、20 世紀以前の大陸発見時代、20 世紀初めのはなばなしい英雄時代、1957 年以降の国際共同観測時代に分けられる。時代ごとに、目的は異なっていたが、いずれの探検隊も地質と気象にはとくに注意を払い、遭難したスコット隊の遺品の中から化石標本が発見されたのはその端的な例であつた。しかし、近代科学的な知識が急激に集まり出したのは、なんといつても 1957 年の第 3 次国際地球観測年以降のことで、各国の科学者は雪上車や飛行機で露岩をもとめて活発な調査をすすめ、多くの成果をあげている。現在で

は、アメリカ、ソ連をはじめ、1980 年から参加した西ドイツを含めると 12 ケ国が大陸の周辺や内部に基地を設け (図 1)、その数は 51 に達している。またインドや中国でも南極観測参加の計画があり、インドは昭和基地とマラジョージナ基地 (ソ連) との間に基地建設を始めている。

わが国の南極探検は 1911 年の白瀬隊に始まり、戦後はよく知られているように昭和基地が 1957 年に建設され、その後一時的な閉鎖時期もあつたが、観測規模は漸次拡大し、1982 年に出発した 24 次隊では昭和基地とみずほ基地の 2 つに分かれて合計 35 名が越冬し観測項目も定常観測 10、研究観測 12 になつている。また宗谷で始まつた砕氷船も「ふじ」にひきつがれ、さらに 1983 年からは「しらせ」が巡航している。

3. 南極大陸の資源探査

南極大陸の地下資源の存在を推測するには 2 つの方法が考えられる。その一つは周辺大陸からの類推で、もう一つは露岩の調査である。大陸移動説によると、古生代以前には、南極大陸は南アメリカ、アフリカ、インド、オーストラリアなどと一緒にゴンドワナ大陸を形成していた。このことはオーストラリア、インド、アフリカなどで知られている鉱床生成地帯はそのまま南極大陸にも広がっていることになる (図 2)。すなわち周辺大陸の鉱床を調べることによつて、南極大陸に賦存する鉱床を推測することが可能である。もう一つの露岩地域の調査は温暖地帯で行われているような地質調査、物理探査、化学探査を特殊な気象条件を考慮しつつ実施することである。南極大陸の表面の 95% 以上が氷でおおわれているが、それでもなお露岩地帯の面積は日本の総面積より広い。鉱床探査法の多くは地表が氷におおわれていると実施が困難になるので、まずこの露岩地帯の資源探査を最初に行うのが順当と考えられる。

4. 製鉄資源

4.1 鉄鉱石

現在、世界で探掘されている鉄鉱石の大部分は中期先カンブリア時代、およそ 19 億年前に大気酸素が何ら

昭和 58 年 11 月 2 日受付 (Received Nov. 2, 1983) (依頼解説)

* 京都大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Kyoto University, Yoshidahonmachi Sakyo-ku Kyoto 606)

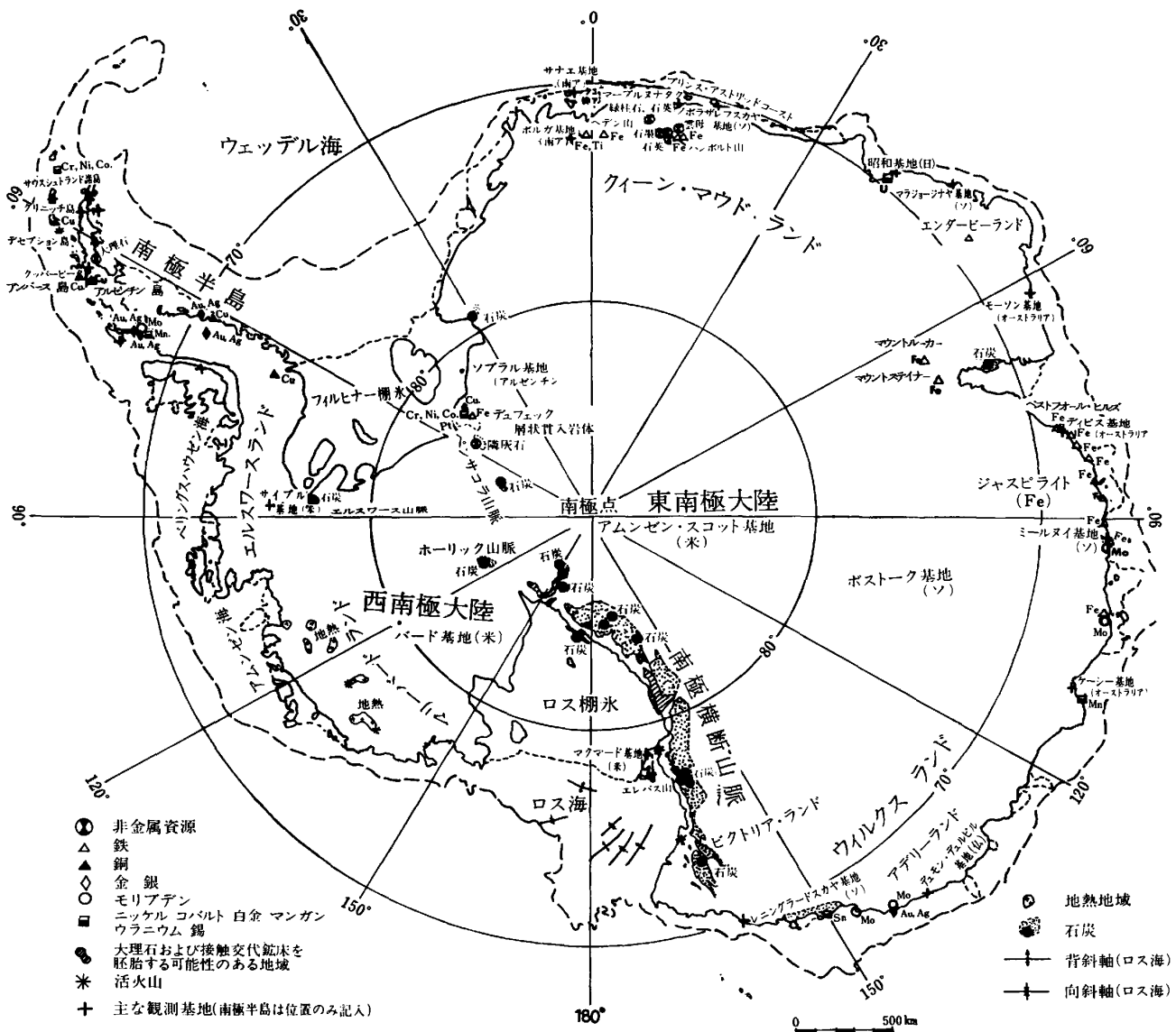


図1 南極における鉱石鉱物の分布とおもな観測基地¹⁾

かの原因で急に増えたために海にとけていた鉄が沈澱したことに関連してできた鉱石である。この時にできた地層は赤鉄鉱 (Fe₂O₃) の薄層と珪質岩の薄層とが互層をなし、美しい縞を形成していることから縞状鉄鉱層と呼ばれ、ユーラシア大陸、北アメリカ、南アメリカ、アフリカ、インド、オーストラリア、南極にわたり、帯状に分布している²⁾(図3)。南極では、図3にみるようにオーストラリアからきた帯が東経 60° から 100° のあたりにつながるとされている。一方、この地域の露岩調査ではいくつかの地点で縞状鉄鉱石の露頭や転石がみつがっている。なかでもソ連の地質調査および磁力探査によつて発見³⁾されたプリンスチャールズ山脈近くのマウントルーカー、マウントスティナーの2ヶ所では縞状鉄鉱の露頭がみつかり、さらにこの地域から 800 km 離れたベストフォールヒルズでも大きな転石と広域にわたる磁

力異常が報告されている。もつともよく調べられているマウントルーカーでは磁力異常の大きさは幅 5~10 km、長さ 120~180 km つづいている。しかし化学分析値は FeO と Fe₂O₃ を合わせて 33.7~57.4% と低く、膨大な鉱量を期待できるが、残念ながら現在では鉄鉱石の範ちゆうに入る品位にはなっていない。

その他昭和基地の西、クィーンマウドランドのヘデン山では 0.5~5m の厚さの磁鉄鉱が、ハンボルト山では 25% 以上の鉄を含み 100m 以上の厚さをもつた層が発見されている。その他にもチタン磁鉄鉱の産出するところや氷河のモレーン中に磁鉄鉱の含まれているところがある。さらにあとでのべるようにデュフェク貫入岩体にも磁鉄鉱に富んだ層がある。

4.2 石炭

石炭が発見され、かつて南極にも植物が繁茂していた

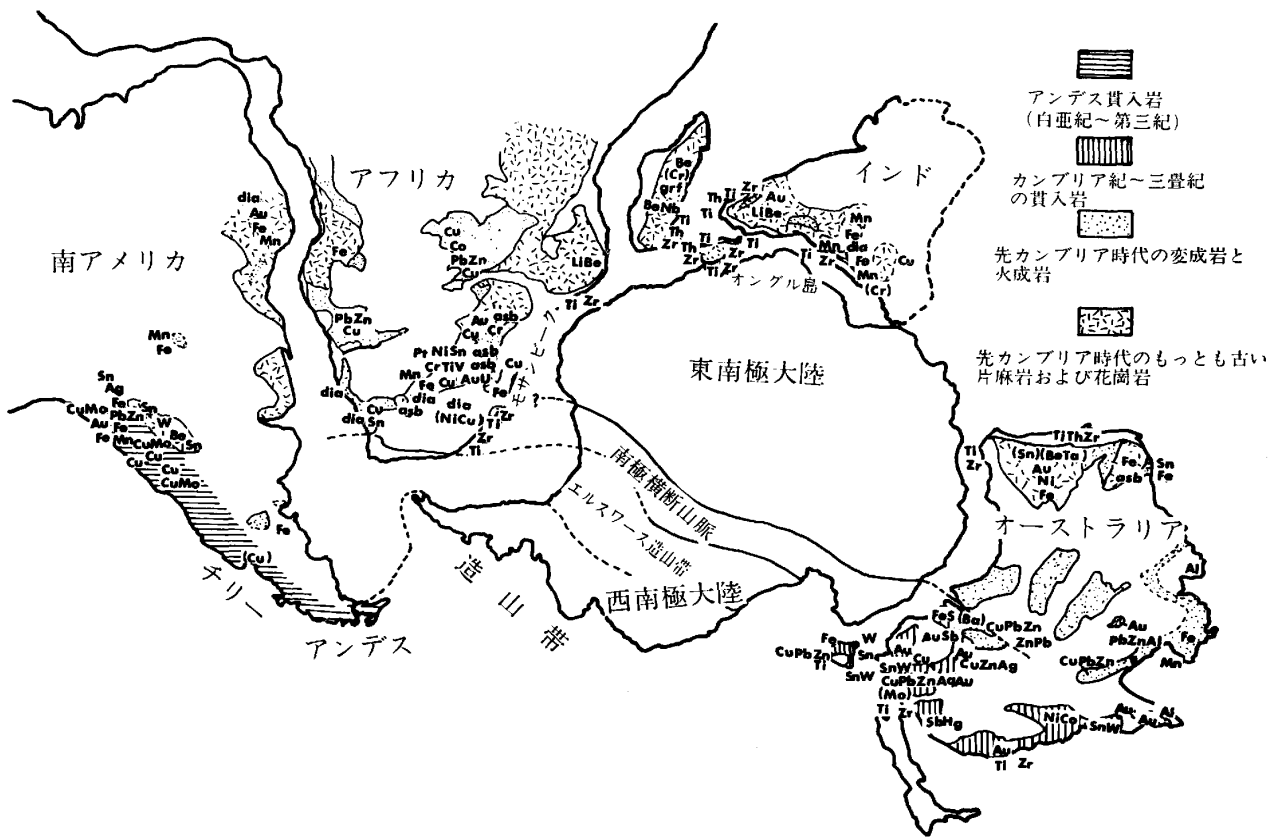


図 2 ゴンドワナ大陸の復元図と鉱床の分布¹⁾

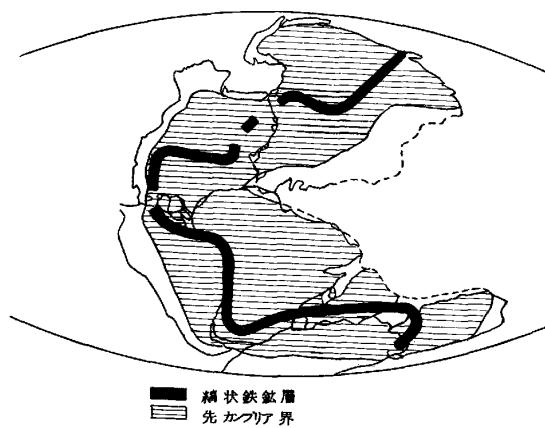


図 3 縞状鉄鉱層の分布²⁾

ことが明らかになったのは 1908 年のジャックルトン探検隊によつてであつた。それ以降南極横断山脈のビーコン累層群を中心に東南極大陸周辺 20ヶ所で石炭の露頭が発見されている。生成年代は主として二疊紀で、部分的には三疊紀のところもある。炭質は新鮮な試料を採取することが困難なため、粘結性の度合いなどはつきりしない点も多いが中程度の揮発分をもつた瀝青炭から半無煙炭で、同じゴンドワナ大陸の南アフリカ、ブラジル、オーストラリアの石炭に比べて遜色はないとされている。炭層は数枚存在しているところが多く、厚いところ

では 5m くらいあるが、一般には 3~4m までで、走向方向への拡がりには 1km を越えることは稀である⁴⁾。このように石炭は質、量ともに比較的まとまつており、温暖地域にあればすでに開発がすすんでいるであろう。採炭と輸送に困難な条件をかかえているが、南極でも近い将来海岸近くの炭田が開発されることは十分に考えられる。

5. 石 油

石油資源は南極ではもつとも重要視されている。というのはアラスカのノーススロープにみられるように、採油・輸送にそれほど人手を必要とせず、自然条件の厳しい所でも容易に経済的価値をもつからである。しかも周辺の大陸や島から類推すると、南極に油田またはガス田が存在する可能性は高い。しかし南極大陸の場合、陸地は厚い氷におおわれており、その氷が堆積岩を变形・変質させるので、ガスや石油の溜る地質条件がととのにくいことになる。そこで、大陸の部分には大きな盆地があるにもかかわらず探査の対象から除かれている。一方大陸棚の部分は氷の影響がなく、非変成の堆積層が存在し有望である。

ゴンドワナ大陸は中生代の中頃以後に海洋底拡大の機構によつて、現在のようないくつかの大陸に分離しはじめた。そしてかつてつながっていた部分に新しい大陸棚

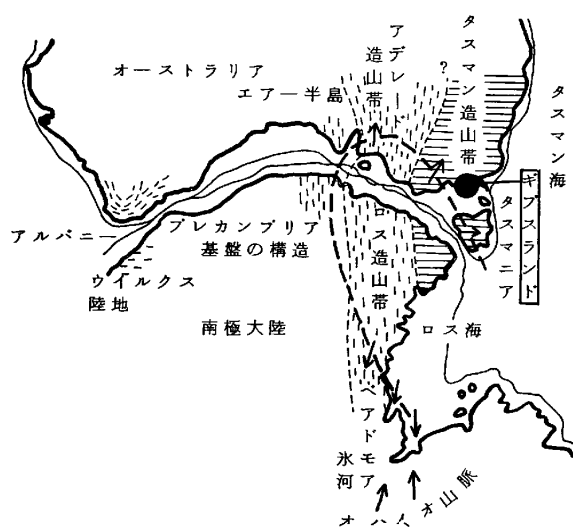


図4 ゴンドワナ古大陸におけるギプスランドとロス海との関係⁵⁾

ができ、白亜紀や第三紀の堆積物が沈澱した。このようにしてできた大陸棚に対して近年試掘や地震探査が行われている。その結果、南アメリカの南端やオーストラリアの南東では油田が発見され、南アフリカのモザンビークでは石油の強い徴候が認められている。これらの地域ではいずれも貯溜層は白亜紀から第三紀で、堆積層の厚さはおおよそ3~5 kmである。なかでもオーストラリア南東のギプスランドは貯蔵量が多い。

南極大陸で上記の大陸とかつてつらなつていたと考えられ、かつ第三紀から現世までの堆積物のみられるところをさがすと、ベリングスハウゼン海、ウェッデル海、ロス海などがある。ベリングスハウゼン海はチリの太平洋岸とつながり、チリではその地域から天然ガスを産出している。ウェッデル海は、少量の石油とガスを産出している南アフリカと南アメリカの大陸棚とにつながっていた。ロス海はもつとも有望で、大きな貯溜層の確認されているギプスランドにつながっていたとされている(図4)。

以上のことから、南極大陸周辺における油田の存在の可能性は高い。そこで、有望とされている各大陸棚についてもう少し詳しくのべよう。

〔ロス海〕 ロス海(ロス棚氷だけで53.85万km²ありフランスより大きい)では、調査船エルタニン号や海底掘削船グローマーチャレンジャー号によつて調査された。調査結果によると、ロス海の堆積層は3~4 kmの厚さがあり、一番古い堆積物は第三紀あるいは白亜紀までさかのぼるとされている。ポーリングコアは海成層と非海成層とからなつており天然ガスが検出された。

〔ウェッデル海〕 ウェッデル海の大陸棚も物理探査によると3~4 kmの堆積層があり、ロス海の大陸棚に匹敵するとされているが探査はすすんでいない。

〔東経80°から110°の海岸〕 ゴンドワナ大陸復古図ではかつてこの海岸につながっていた大陸はみあたらず海洋に面している。同じ海に面してオーストラリアの西海岸があり、そこでは二疊紀からジュラ紀の地層に大油田が存在している。この点で東経80°から110°の間の大陸棚は注目される場所である。

〔西経60°から165°の海岸〕 この海岸もゴンドワナ大陸復古図では海洋に面している。しかしこの地域は造山帯の中にありジュラ紀あるいはそれ以前の地層は破碎され、部分的に変成作用を受けている。ただベリングスハウゼン海は例外でジュラ紀から現世までの堆積物があり比較的乱されていない。すでにのべたように、同じような条件をもつたチリでは第三紀の地層から天然ガスが発見されているので、ベリングスハウゼン海からも天然ガスの噴出で期待できる。

6. 非鉄金属資源

6.1 ゴンドワナ大陸の非鉄金属資源

ゴンドワナ大陸の金属資源について調べるともつとも古い岩石は25~30億年で、南極大陸をはじめ周辺の各大陸の核となつている。この種の岩石からオーストラリア、インド、南アフリカでは、金および金・銅鉱床、ニッケル・銅鉱床、鉄鉱床、リチウム・ベリリウム・ニオブウム・タンタル・希土類元素の鉱床、クロム鉱床、さらに錫・タングステン鉱床が発見されている。22億年かそれ以後の先カンブリア時代の岩石になるとマンガン鉱床、南アフリカの礫岩状の金・ウラン鉱床、ブッシュフェルトのクロム、ニッケル、銅、白金、鉄、バナジウム各鉱床、オーストラリアのマウントアイザ、ブロークンヒルの銅・鉛・銀および鉛・亜鉛・銀鉱床がある。その他に白亜紀のキンバーライトに含まれるダイヤモンド、古生代から中生代の地層を貫いている層状玄武岩に含まれる低品位のニッケル・銅鉱床などがある。またオーストラリアのアデレート造山帯では先カンブリア時代後期や古生代初期の堆積岩や火山岩中に、銅、鉛、亜鉛、金、バリウム、マンガンなどの鉱床がみられる(図2)。

これらの地層はいずれも南極大陸中にも続いている。したがつてそれぞれ時代に対応した鉱床が南極大陸の地層中にも胚胎しているものと推測できる。

6.2 デュフェク層状貫入岩体

安定大陸地域には成層した貫入岩体が存在することがある。南アフリカのブッシュフェルト、米国のスティルウォーター、カナダのサドベリーなどの岩体が有名で、これらの層状貫入岩体は多くの鉱床を胚胎している。たとえばブッシュフェルトでは鉛、亜鉛、バナジウム、鉄、コバルト、錫、金が稼行の対象にされたことがありサドベリー火成岩体では、ニッケル、銅、白金、金、銀、セレン、テルルなどの鉱床群をともなつている。これらに匹敵する大規模な層状貫入岩体が南極でも発見され(デ

デュフェク層状貫入岩体), 鉱床胚胎の可能性が高い。

デュフェク層状貫入岩体の発見は 1957 年で, 南緯 82.5°~83.5°, 西経 47°~54° に位置し, ペンサコラ山脈の北部を占め, 表面の多くは氷でおおわれている。露岩の部分は 1965~1966 年に米国の地質学者によつて調査され, すくなくとも 34 000 km² (うち露岩面積 8 000 km²) の広がりを持ち, 岩体の厚さは 7 km に達しそのうちの 4 km は露出がみられる。露出していない部分は下部の超塩基性 (超苦鉄質) 岩と考えられている。鉱物資源としてはすでに数 m の厚さをもつ磁鉄鉱の鉱床がみられ, 他に白金, ニッケル, 銅, クロムの鉱床の発見が期待されている。銅については銅の硫化鉱物や二次鉱物が岩体のいたるところに散在しており, フォレストアル山脈の磁鉄鉱の多い岩石中にとくに濃集している。クロム鉄鉱に関しては 1957 年に報告されたが, 1965~1966 年の調査では発見されなかつた。化学分析値をみると銅は一般に 20~110 ppm で, 稀に 2 000 ppm (0.2%) に達する。クロムニッケルは 100 ppm 以下のものが多いが 500 や 200 ppm を示す試料もみられる。白金元素は多くの試料では検出限界以下であるが, 磁鉄鉱を含む岩石では最大 0.03~0.05 ppm を検出している⁷⁾。バナジウムについては最大 2 000 ppm である。しかしいずれも鉱石となるほどの金属量ではない。なおこのデュフェク岩体の貫入時期は中部ジュラ紀で, おそらく南極横断山脈に広く分布するフェラー輝緑岩と関係が深いとされている。

6.3 南極大陸の露岩地帯および南極海で発見された鉱石鉱物

6.3.1 銅

銅鉱床の可能性はまずチリのアンデス山脈から続く南極半島があげられる。鉱床は白亜紀から第三紀初めの閃緑岩やモンゾニ岩を鉱染したポーフィリー銅鉱床である。気温が低いために二次富化はほとんど認められずごく一部で孔雀石や珪孔雀石のような鉱物が地表で観察されるのみである。ランターコーストは南極半島の根元にあり比較的良好に調べられているところである⁸⁾。そこでは母岩は主として花こう閃緑岩や石英モンゾニ岩からなり熱水変質がみられ鉱化作用をうけている。K-Ar 法による年代測定の結果は 99~119×10⁶ 年で中生代白亜紀に相当する。一次鉱物は黄銅鉱, 黄鉄鉱, 輝水鉛鉱, 磁鉄鉱, 斑銅鉱で二次鉱物としては赤鉄鉱, 褐鉄鉱, 孔雀石, 珪孔雀石などが同定されているが量は少ない。化学分析では Cu, Mo, Pb, Ag, Ni, Bi, Co などの値が周辺の岩石に比べると高い値を示している。ランターコーストの他にも南極半島のアルゼンチン島でモリブデン, 銅, 鉄の鉱化作用が知られ⁹⁾, アンバース島でも閃緑岩やトナライトの中に銅鉱物が産出している。さらにグリニッチ島では幅 1~2.5 m で黄銅鉱を 0.8% 含んだ鉱脈がみられる⁷⁾。またすでにのべたデュフェク層

状貫入岩体にも銅の濃集しているところがある。

6.3.2 金と銀

金や銀の鉱石として扱えるほどのものはまだみつつかっていない。しかし南極半島の黄鉄鉱に富んだ試料から 0.3~2 ppm の金, 1~10 ppm の銀が報告されている。また東南極のアデリー海岸やビクトリアランドにも金の検出されたところがある⁷⁾。

6.3.3 モリブデン

モリブデン鉱物の輝水鉛鉱は東南極の先カンブリア時代の結晶片岩中と南極半島のポーフィリー銅鉱床にともなうものの二種類が知られている。

6.3.4 その他の金属

マンガンは南極半島とウィルクスランドに産出がみられクロム, ニッケル, コバルト, 白金はデュフェク層状貫入岩体と南極半島の北端のサウス・シュトランド諸島にある苦鉄質貫入岩が有望である。放射性鉱物としては, 閃ウラン鉱の報告はないがユークセナイトが昭和基地のあるリュツォホルム湾から産出しており⁸⁾, アデリーランドにも異常に放射能の高いところが知られている。

6.3.5 マンガンノジュール

よく知られているように将来の重要な資源の一つとして海底に産するマンガンノジュールの利用が考えられている。これは経済的にはマンガンよりもニッケル・コバルト・銅の方が価値が高く, 赤道に近いノジュールは金属に富み, 赤道から離れるとともに金属分が少なくなる傾向がある。したがって南極周辺の海にあるマンガンノジュールは赤道近くのものに比べると魅力は少ない。しかし南緯 50° より南の海にもマンガンノジュールの産出は数多くの地点で知られている。

7. 非金属資源

東南極大陸のクィーンマウドランドをはじめとして, 非金属鉱床の存在が予測されているところがある⁷⁾。

〔金雲母〕 金雲母はプリンセス・アストリッドコーストより内陸に入ったところのハンボルト山脈のペグマタイト中に産出がみられる。脈は 100 m 以上続き, 金雲母の大きさは平均 20 cm×10 cm×4 cm で, 脈の 2% が金雲母で占められている。

〔緑柱石〕 クィーンマウドランドで産出が知られ, なかでもマーブルヌナタクがもつとも優秀で, ペグマタイト中に 10~15 cm の大きさで含まれている。また緑柱石とともにトバズ, 電気石, 燐灰石を産出し, 20~25 cm の大きさの水晶もみられる。

〔石墨〕 やはりクィーンマウドランドのペグマタイト中に産出し, 2~3 cm の厚さの石墨の結晶がみられる。

〔燐灰石〕 ペンサコラ山脈中の古生代中部の砂岩中に不規則な層をなして産出し, 厚さは 1 m くらいある。この程度では経済的な価値はないが, 産出位置が高緯度

である点で注目されている。

〔大理石〕 大理石は南極半島と南極横断山脈中に産出が知られている。

8. 氷

地下資源には属さないかもしれないが、南極での最大の資源はやはり氷であろう。南極海に浮ぶ巨大な膨大な数の氷山は、海水が凍結してできたものではなく南極大陸氷床の内部で、数千年、数万年前にふりつもった雪が海洋に押し出されてきたものである。したがって、とけると淡水になり両極の氷をあわせると地球上の淡水の80%に達するという。この氷山を有効利用する計画は、具体的な試みがなされたわけではないが、いくつかの構想が発表されている⁹⁾。たとえば巨大な氷山をカリフォルニアや南米西岸のアタカマ砂漠までタグボートでひつばつてきて水不足を解消しようというもので、輸送費に比べて十分採算がとれるという。また自然の冷凍庫として活用しようという考えもある。その他放射性廃棄物を大陸内部に保管する計画もある。氷床の動きは極めてゆっくりしているので、内陸に置かれた放射性廃棄物が南極海に出てくる頃には放射能は弱くなり安全になっているという考え方である。さらに氷山の漂流を利用し、氷山上に海水中のウラン回収装置を作るという話もある¹⁰⁾。

9. おわりに

南極の鉱産資源については、現状では経済的に有利に回収できるような大規模の鉱床はまだ発見されてい

ない。しかし、巨大な資源が眠っていることはまず間違いなく近年の世界的な資源不足から考えると近いうちに本格的な資源探査が始まり、南極にもオイルラッシュやメタルラッシュが起こることも十分考えられる。その場合、気温が低いこと、水がないこと、露岩が少ないこと、海岸のほとんどが海水で埋められていること、特別な場所を除いて人が住んでいないことなど、他の地域にはみられない障害を克服しなければならないであろう。

文 献

- 1) N. A. WRIGHT and P. L. WILLIAMS: Geological survey circular, 705 (1974), p. 1
- 2) A. M. GOODWIN: Implications of Continental Drift to the Earth Sciences, Vol. II (1973), p. 1047 [Academic Press]
- 3) M. G. RAVICH, L. V. FEDOROV, and O. A. TARUTIN: Antarctic Geoscience (1982), p. 853 [Univ. of Wisconsin Press]
- 4) J. F. SPLETTSTOESSER: Economic Geology, 75 (1980), p. 936
- 5) 木崎甲子郎: 南極大陸の歴史を探る (1973) [岩波書店]
- 6) P. D. ROWLEY, P. L. WILLIAMS, D. L. SCHMIDT, R. L. REYNOLDS, A. B. FORD, A. H. CLARK, E. FARBAR, and S. L. MCBRIDE: Economic Geology, 70 (1975), p. 982
- 7) D. D. HAWKERS and M. J. LITTLEFAIR: Economic Geology, 76 (1981), p. 898
- 8) 斎藤信房, 立見辰雄, 佐藤和郎: 南極資料, 12 (1961), p. 1057
- 9) 上田 豊: 探検と冒険, 8巻 (1972), p. 56 [朝日新聞社]
- 10) 西山 孝: 地球, 5 (1983), p. 553