

# ポーランドの金属鉱物資源

平野 英雄<sup>1)</sup>

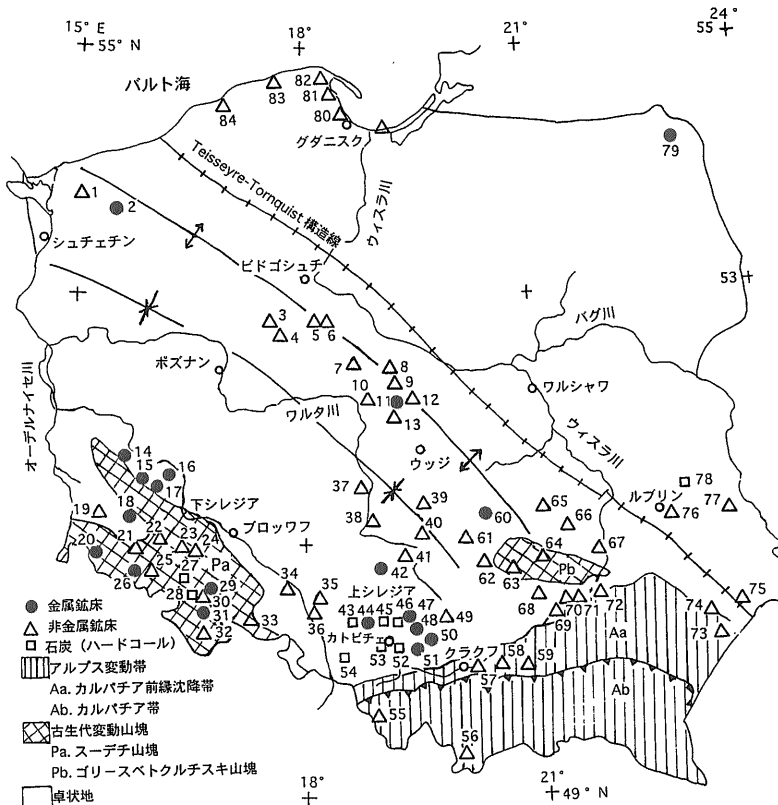
## 1. はじめに

ポーランドは、スロバキア、ハンガリー等のほかの東欧諸国とは異なり、カルパチヤ帯（アルプス変動期に形成）の外側に位置する国である。ロシアに次ぐヨーロッパ第二の生産量を誇る石炭など各種の鉱物資源を産出する。金属資源では、堆積岩を母岩とする2種類の鉱床、含銅けつ岩層中の銅鉱床と炭酸塩岩中の鉛・亜鉛鉱床を特徴としている。日本には見られないこれら2種類の金属鉱床を中心に、ポーランドの鉱物資源の産状を紹介する。

## 2. 概要

ポーランドはバルト海に面し、ドイツ・チェコ・スロバキア・ウクライナ・ベラルーシ・リトアニアおよびロシア（飛び地）に囲まれた国である。面積は日本の83%の広さ（31.3万km<sup>2</sup>）をもち、南部のカルパチヤ山脈と南西部のオーデル＝ナイセ川上流域を除き、主に平野部からなる。平野部はほぼ海抜高度100m程度で、ウイスラ川など大小の河川が走り、それらはバルト海に注ぐ。

ポーランドの地質は、その北東部分をしめる先カ



第1図  
 ポーランドの鉱物資源分布  
 (Osika, 1986, 1990)。鉱床  
 番号は、第1表に対応。

1) 地質調査所 地質情報センター

キーワード: 鉱物資源, 金属鉱床, ポーランド

第1表 ポーランドの鉱物資源一覧。鉱床番号は第1図のそれらに対応。

番号	鉱床名	鉱産物	番号	鉱床名	鉱産物		
1	ラスカ	Laska	石灰石	43	ザブルゼ	Zabrze	石炭
2	ロベズ	Lobez	Fe	44	バイトム	Bytom	Zn, Pb
3	ダマスラウエック	Damaslawek	岩塩	45	バイトム	Bytom	石炭
4	モギノ	Mogino	岩塩	46	ダブロワ	Dabrowa	石炭
5	イノブロワフ	Inowroclaw	岩塩	47	ザビエルチェ	Zawiercie	Zn, Pb
6	シェコチネク	Ciechocinek	岩塩	48	ポマーズニ	Pomorzany	Zn, Pb
7	イズビカ	Izbica	岩塩	49	ウォルブロム	Wolbrom	石灰石
8	ルビエン	Lubien	岩塩	50	オルクーツ	Olkusz	Zn, Pb
9	ラニエタ	Lanieta	岩塩	51	トルゼピオンカ	Trzebieonka	Zn, Pb
10	クロダワ	Klodawa	岩塩	52	ジャウォルノ	Jawornno	石炭
11	レチカ	Leczyca	Fe	53	カトピセ	Katowice	石炭
12	クトノ	Kutno	石灰石	54	リブニック	Rybnik	石炭
13	ロゴズノ	Rogozno	岩塩	55	レスナゴラ	Lesna Gora	石灰石
14	シェロソピセ	Sierszowice	Cu	56	ツァフラリ	Szaflary	石灰石
15	ポルコピセ	Polkowice	Cu	57	ピエリツカ	Wieliczka	岩塩
16	ルドナ	Rudna	Cu	58	レズコピセ	Leznowice	岩塩
17	ルビン	Lubin	Cu	59	ボチニア	Bochnia	岩塩
18	コンラッド	Konrad	Cu	60	コンスキー	Konskie	Fe
19	マリア	Maria	カオリン	61	モゼツツォ	Mojeszow	石灰石
20	トロギエルツィン	Turow Gierczyn	Sn (スズ)	62	レスニカ	Lesnica	石灰石
21	ゼルコピセ	Zerkowice	石灰石	63	トルツカピカ	Trzuskawica	石灰石
22	スタニスラオ	Stanislawow	カオリン	64	ルドキ	Rudki	硫化鉄
23	カルノ	Kalno	カオリン	65	ラドム	Radom	リン
24	ウィリィ	Wiry	マグネサイト	66	ウエズビカ	Wierzbica	石灰石
25	グルゼディ	Grzedy	パライト	67	アノボル	Annapol	リン
26	コワリィ	Kowary	Fe	68	グルツボウ	Grzybow	硫黄
27	ワルブチチ	Walbrzych	石炭	69	ルドニキ	Rudniki	硫黄
28	ラドコウ	Radkow	石炭	70	バラノウ	Baranow	硫黄
29	ツカリィ	Szklary	Ni	71	マチョウ	Machow	硫黄
30	ブラツォピセ	Braszowice	マグネサイト	72	ゼンオルカ	Jeziorko	硫黄
31	ズロディストク	Zloty Stok	Au, As	73	バツニア	Basznia	硫黄
32	ノウィワリトゥ	NowyWaliszow	石灰石	74	プラソ	Plazow	石灰石
33	スロオニオピセ	Slawniowice	石灰石	75	ズラピセ	Zurawice	石灰石
34	オポレ	Opole	石灰石	76	レジョビツク	Rejowiec	石灰石
35	イズビコ	Izbicko	石灰石	77	チェルム	Chelm	石灰石
36	ゴラジネ	Gorazdne	石灰石	78	ボグダンカ	Bogdanka	石炭
37	ビルカピス	Wielka Wies	石灰石	79	クレミアンカ	Kremianka	Fe, Ti
38	ジアロシン	Dzialoszyn	石灰石	80	ジャンター	Jantar	こはく
39	スロノ	Slawno	石灰石	81	ポゴルキザツク	Pagorki Zach	こはく
40	コドラス	Kodras	石灰石	82	ザトカプカ	Zatoka Pucka	岩塩
41	ラトソウカ	Latosowka	石灰石	83	レバ	Leba	岩塩
42	チェストコーワ	Czestochowa	Zn, Pb	84	ムソザノウォ	Muzozanowo	こはく

ンブリアプラットフォーム(以後卓状地), 南東部分の古生代卓状地, バリスカン期とアルプス期の変動帯とからなる。先カンブリア卓状地とそれ以外とは, ポーランド中央部を北西-南東方向に走る大構造線, T-T構造線 (Teisseyre-Tornquist tectonic line) によって分けられている。

先カンブリア卓状地: ロシア台地の一部分をなし, T-T構造線の北東側を占める。水平な堆積層(主に中・新生代の地層)とそれに覆われる先カンブリア代の基盤岩(主に変成岩類)とからなる。基盤岩の一部をなす斑れい岩にはイルメナイト-磁鉄鉱鉱床(クレミアンカ鉱床)が発見されている。卓状地堆積層中にはモリブデン・バナジムの濃集(オルドビス紀けつ岩), ポーキサイト(石炭紀), 岩塩類(ペルム紀)が認められる。

古生代卓状地: 基盤岩の上に堆積した古生層が

やや変動を受けた地域で, 準台地ともいう。この地域の地質体は, 垂直(年代)的に大きく3つのユニットに区分される。すなわち, 古い方から, 先カンブリア紀の変成岩基盤, カレドニア・バリスカン期の褶曲古生層およびそれらを覆うペルム紀から新生代の卓状地堆積層に分けられる。中・古生代の堆積層は, T-T構造線に平行な北西-南東方向の褶曲軸を持っている。鉱物資源では, ポーランドを代表する石炭(上部石炭紀のハードコール, 第三紀のブラウンコール)・銅(ペルム紀含銅けつ岩), 鉛・亜鉛(三疊紀ドロマイト層), 鉄(ジュラ紀)および岩塩層(ペルム紀, 第三紀中新世)がある(第1図, 第1表)。

古生代変動山塊: 北西-南東方向の2つの背斜軸部に沿って露出する複合山塊で, 先カンブリア紀から古生代に至る幾度かの変動で形成された火成

第2表 ポーランドの鉱物資源の時空分布.

	アルプス変動帯	古生代変動山塊	古生代卓状地	先カンブリア卓状地
新生代	岩塩 (第三紀) ベントナイト (第三紀) Fe (第三紀)	Ni (風化, 第三紀) Pb-パライト (鉱脈, 第三紀)	こはく (再堆積, 第四紀) こはく (第三紀) 硫黄 (堆積, 第三紀) 岩塩 (第三紀)	
中生代	Mn (堆積, ジュラ紀)	リン灰土 (白亜紀)	石炭 (古第三紀) リン灰土 (白亜紀) Fe (堆積, ジュラ紀) Pb-Zn (三疊紀?) 石灰石 (ジュラ紀)	
古生代		岩塩 (ペルム紀) Au-As (鉱脈, 石炭紀?) ポーキサイト (石炭紀) 耐火粘土 (石炭紀) 石炭 (石炭紀) Fe (変成, 石炭紀?)	岩塩 (ペルム紀) Cu (ペルム紀) 石炭 (石炭紀) 石灰石 (デボン紀)	岩塩 (ペルム紀) ポーキサイト (石炭紀) Mo-V (オールドビス紀)
先カンブリア代		Cr (火成)		Fe-Ti (火成)

岩・変成岩と中・古生代の堆積岩からなる。ポーランド南西縁部(オーデルナイセ川上流部)のスーデチ地域とポーランド中南部のゴリースベトクルチスキ地域に分かれる。

スーデチ地域の地質は、先カンブリア紀の花崗岩・片麻岩・角閃岩、超苦鉄質岩、結晶片岩、石炭紀の花崗岩等からなる。多様な鉱物資源があり、それらは主に古生代後期に形成された。古い時代から、ポーキサイト、耐火粘土、石炭(ハードコール)、金-砒素、硫砒鉄鉱(以上石炭紀)、岩塩、亜鉛-銅-パライト(以上ペルム紀)、マグネサイト、ラテライトニッケル、風化性カオリン(以上第三紀)である。

ゴリースベトクルチスキ地域は、カレドニア期の変成岩を主とし、カドミア期、カレドニア期、パリスカン期、アルプス期の4つの変動・鉱化作用が認められている。このうち古生代後期のパリスカン期の鉄(ルドキ鉱床)と銅(ミドジンカ鉱床)の鉱化作用が

顕著である。アルプス期の鉱化作用には、ドロマイト中に生じた鉛-パライト鉱脈が知られている。

アルプス変動帯(カルパチア帯):ポーランドの南縁部を占め、古生代卓状地の堆積岩と古生代変動山塊の各種岩石の分布を横切るように分布している。主に古生代から新生代の褶曲した地層からなる。これらの地層中に堆積性マンガン鉱床(ジュラ紀)、熱水性鉄鉱床、新生代の堆積性鉄鉱床、ベントナイト、岩塩・石こう・硫黄鉱床を伴う。

これらの鉱物資源の時代別・地域別分布の概要を第2表にまとめた。

### 3. 金属鉱床

ポーランドの金属資源のうちでは、ベースメタル(銅・鉛・亜鉛)と銀の生産量が著しい(第3表)。特にベースメタルの副産物として回収される銀は、世界生産量の7%を占める。

第3表 ポーランドの主要鉱石生産量.

鉱種	単位	1980	1985	1990	1993	1994	1995	世界95
1 金*	t	-	0.03	0.2	0.3	0.3	0.3	2,250
2 銀*	t	765	890	832	767	1,064	1,000	14,600
3 銅*	kt	346	431	329	384	380	380	10,000
4 鉛*	kt	60	53	61	49	48	48	2,710
5 亜鉛*	kt	188	187	178	151	150	150	7,000
6 ニッケル*	kt	2.1	2.0	-	-	-	-	1,040
7 鉄鉱石	Mt	0.1	0.01	0.002	-	-	-	1,004
8 カオリン	kt	51	48	48	48	48	50	24,500
9 パライト	kt	96	91	25	-	25	20	3,600
10 岩塩	Mt	4.5	4.9	4.1	3.8	4.1	4	
11 天然硫黄	Mt	5.2	4.9	4.7	1.9	2.2	2.2	4.2
12 石炭	Mt	230	249	215	199	201	200	4,549
13 セメント	Mt	18	15	13	12	14	14	1,421

\*印: 鉱石中の含有金属量。出典: USGS, Mineral Industry Survey 1996等。

### 3.1 金・銀

金鉱床は、ポーランドの南西部スーデチ地域の古生代変動山塊に数ヶ所知られているが、ズロティーストク (Zloty Stok) 地区の鉱脈鉱床を除き、いずれも小規模なものである。

ズロティーストクの鉱床は、15世紀に開発された鉱脈型の含金砒化鉱床で、1963年までに約23tの金を生産した。含金砒化鉱床は、先カンブリア紀結晶片岩中の不規則レンズ状の炭酸塩岩の周辺やその内部に脈状に存在する。運鉱岩は近くのパリスカン期の閃長岩と花崗岩と考えられている。比較的大きな鉱体は、東西に分かれた計4つがある。東側の鉱体は Gora Haming と Gora Krzyzowa と呼ばれ、1~20mの厚さの板状や鉱脈状の集合体となっている。西側の鉱体は、Gora Lysa と Gora Biala と名付けられ、全体の長さ300m以上、幅20~30m、高さは約100mで、南東に60°傾斜する。東西の鉱体とも多数の断層により、転位している。

砒化鉱石は、塊状鉱 (As 35~40%, Au 40g/t)、網状鉱 (As 6~29%, Au 1~8g/t)、鉱染状鉱 (As 1~7%, Au 1~8g/t) があり、金は、主に塊状鉱に濃集している。

鉱石鉱物は、硫砒鉄鉱と砒鉄鉱で、磁鉄鉱、磁硫鉄鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱を伴う。また、部分的に方鉛鉱、閃亜鉛鉱、輝安鉱も見られる。

塊状鉱は18世紀中頃に終掘となったが、19世紀中頃からは、塩素法による砒化鉱石からの金の抽出が適用され、年間30~70kgの金が回収された。そして、1963年を最後にこの地区の鉱石の生産が停止された。砒素は除草、殺虫、木材防腐用に使われた。砒化鉱石 (精鉱) と金の生産量を以下に示す (Osika, 1986)。

生産年	砒化鉱石 (t)	生産年	金 (kg)
1481-1738	2,168,000	1481-1492	600
1739-1800	84,000	1493-1516	1,920
1801-1900	372,000	1517-1541	3,500
1901-1944	1,194,000	1542-1556	1,650
1945-1955	-	1557-1600	800
1956-1960	200,000	1601-1700	300
1961-1965	20,000	1701-1738	35

ズロチー地区からの金の総生産量は、上の表に示された18世紀中頃までの生産量8.8tに、砒化鉱石精鉱中の含金推定総量14tを加えて、約23tと

推定される。ちなみにこの量は、佐渡金鉱床 (新潟) の総産出量金の4分の1にあたる。この地区で最近 (1996年) ポーランド国営銅公社 (KGHM Polska Miedz SA) が金鉱床の探鉱を開始した。

銀はポーランドの金属鉱物の中で主要な位置を占めており、1995年は、世界生産量の7%にあたる1,000tであった。銀は、金鉱床に伴うものではなく、堆積岩を母岩とするベースメタル鉱床に伴う。すなわち、下シレジア地域の含銅けつ岩層 (Kupferschiefer) の銅鉱床とシレジア-クラクフ地域の鉛-亜鉛鉱床に含まれ、これらのベースメタルを精製する過程で副産物として回収されている。両地域から産出するそれぞれの鉱石の平均的な銀の品位は次の通り (Osika, 1986)。

Cu 鉱石	3,000-4,000g (Cu 金属 t 当り)
Pb-Zn 鉱石 (酸化鉱中)	150g (Pb+Zn 金属 t 当り)
Pb-Zn 鉱石 (硫化鉱中)	50g (Pb+Zn 金属 t 当り)

上記鉱石の銀品位とベースメタル生産量 (第3表) から計算すると、銀の生産比率は含銅けつ岩からのもの100に対し、Pb+Zn 鉱石からのものは2~5と推定される。

銀は上記の地域以外に、古生代変動山塊中のバライト-方鉛鉱脈 (ゴリースベトクルチスキ地区、方鉛鉱中にAg 0.6%を含有) や硫砒鉄鉱中 (スーデチのクザルノフ地区、鉱石1t中にAg 60~80gを含有) にも伴われて産出する。

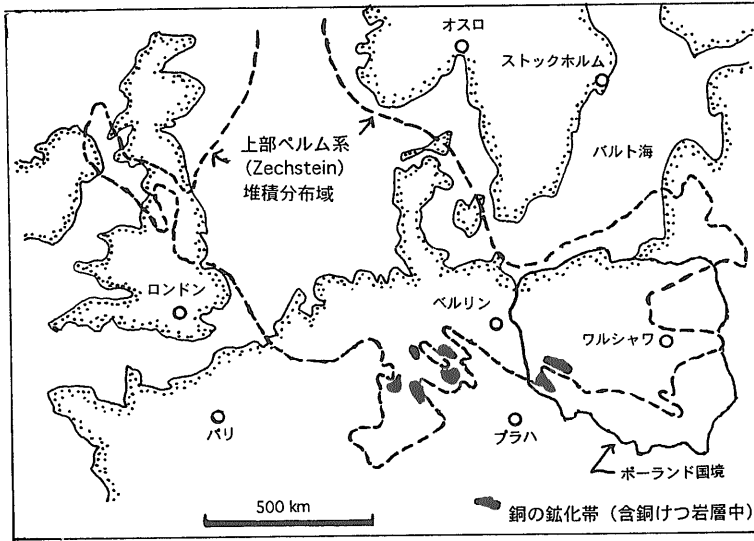
銀は、装飾品、食器などの素材として、また銀の十字架やマリア像としても広く国民に (90%がカトリック教徒) 愛用されている。

### 3.2 銅

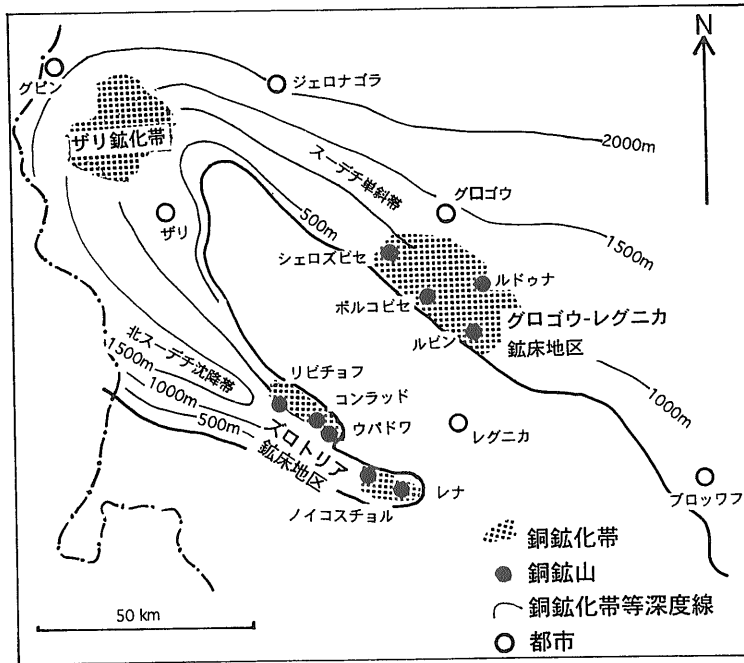
ポーランドの銅の鉱床タイプには、鉱脈型鉱床と層状鉱床とがある。経済的には、層状鉱床 (ペルム紀上部の含銅けつ岩鉱床) が圧倒的に重要である。

#### (1) 層状銅鉱床

この鉱床は、大規模な広がりに対し厚さがきわめて薄いこと、鉱床母岩 (含銅けつ岩層) の堆積時代が限定されること (ペルム紀上部) を特徴とする。含銅けつ岩層ならびにその同時代堆積層はポーランド・ドイツ・オランダからイギリスなどヨーロッパに広く分布する (第2図)。このうち銅が特に濃集した



第2図  
ベルム系Zechstein層の分布 (Vaughan et al., 1989).



第3図  
下シレジア地域の層状銅鉱床の分布 (Rydzewski, 1978).

部分がポーランドやドイツ国マンスフェルトトラフなど数地区が知られており、採掘対象となっている。ポーランドの層状銅鉱床は下シレジア地域に3地区に分かれて分布している(第3図)。

3地区のうち最初に発見されたのはグログウーレグニカ地区のルビン鉱床である。ポーランド地質調査所による基礎ボーリング調査によって1952年に、予想された位置に予想を遙かに超える巨大鉱床(10億t以上の埋蔵量)が発見された。この鉱床の埋蔵鉱量はドイツMansfeld鉱山(生産+埋蔵量=

7,500万t)や米国White Pine鉱山(5.5億t)を上回る(Gustafson and Williams, 1981)。現在4鉱山(ポーランド国営銅公社が所有)が深さ900-1,100mの鉱体を採掘中で、1993年の精鉱生産量とその品位は、ルビン(6.68Mt, Cu 1.31%, Ag 70g/t), ポルコピゼ(6.83Mt, Cu 1.82%, Ag 54g/t), ルドナ(10.63Mt, Ag 1.82g/t), シェロゾピゼ(3.07Mt, Cu 1.79%, Ag 32g/t)であった(Mining Journal, 1994. Dec. 2, vol. 323, no. 8304)。

これらの鉱床は、いずれもベルム紀の厚い炭酸

第4表 下シレジア グロゴウ-レグニカ地区Lubin.

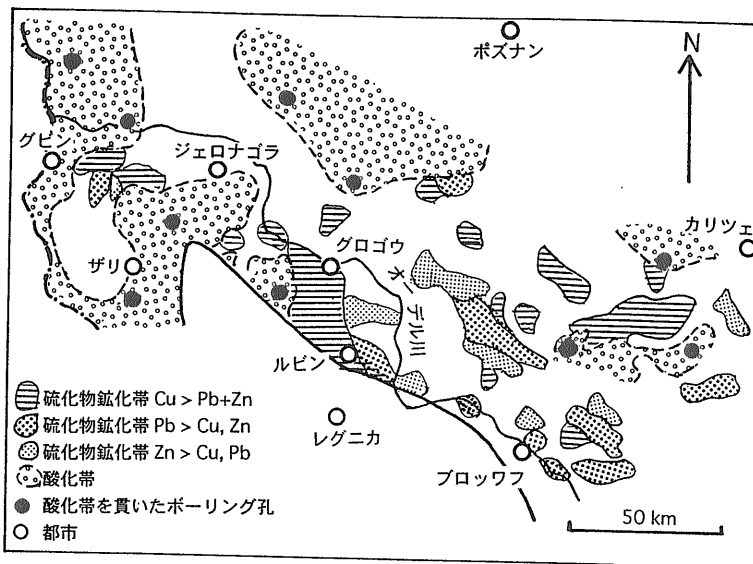
層序	地層	平均の厚さ	岩相	鉱化作用
第四紀		58m	砂, 粘土, 砂礫, 水礫	
第三紀		293m	砂・粘土・シルト層からなり, リグナイトを挟む	
三疊紀		79m	黒や緑色の細粒砂岩, 粘土を挟む	
上部ベルム紀 (Zechstein)	粘土質けつ岩層	32m	赤, ピンク, 茶色のけつ岩, 石こうを含む	
	硬石こう層	123m	灰色の粗粒~細粒硬石こう層, 炭質物を挟む	
	炭酸塩岩層	59m	石灰岩とドロマイト, 薄いCa-ドロマイト, 石こうを伴う	底部付近に硫化Pb-Zn 鉱化作用あり
	含銅けつ岩層	0.3-3.0m	炭酸塩を含む頁岩で, 薄いつ岩や炭質物を挟む	硫化銅の強い鉱化作用あり
	白色砂岩層	9.5m	細粒の石英質砂岩, 粘土石灰質のセメンティンダ	地層上部に硫化銅の鉱化作用あり
下部ベルム紀 (Rotliegendes)	赤色砂岩層	500-600m	赤茶色の中粒砂岩, けつ岩の薄層を挟む, 多孔質	

塩堆積層の下盤のけつ岩層(含銅けつ岩)を中心に存在する(第4表). 銅の実質的な濃集層は3層に渡り, それらは, 黒色から灰黒色のマール質けつ岩層(Cu 1-3.4%)と, その直下の酸化した赤っぽい砂岩層(Cu 0.5-1.5%)およびけつ岩層直上の炭酸塩岩の基底層(Cu 約1.5%)である. 鉱化層の合計の厚さは1~数mで, 鉱化層の平均含有量は, Cu 1~2%である. 鉱床の主体は含銅けつ岩層で, このけつ岩層は層内で成分変化が見られ, 下位で粘土分が多く, 上部に向かいドロマイト含有量が増す. 層の底部を占める厚さ3cmほどの薄層はれき青炭質のけつ岩で, かなりの量のタル成分を含む.

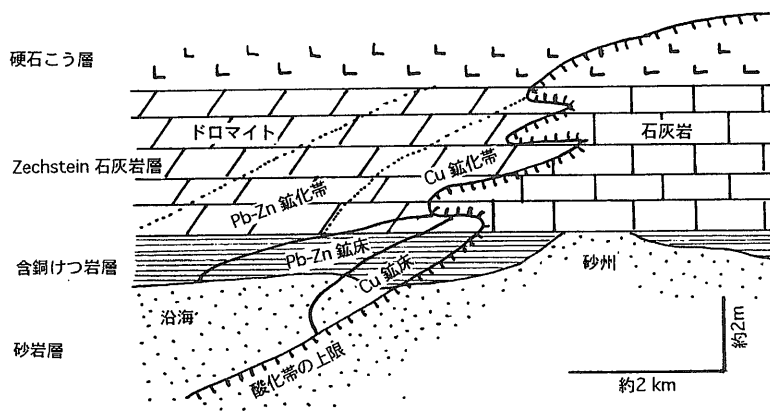
この地域の鉱床層準は, 広い範囲にわたりポー

リング調査され, 酸化帯と還元帯に明瞭に分けられることが判明した. 酸化帯には, 炭酸塩, 硫酸塩, 水酸化鉄, 還元帯には, 銅・鉛・亜鉛・鉄の硫化物が存在する. ベースメタルの濃集は還元帯に限られ, しかも酸化還元環境によく対応した元素分布の規則性が見られる. すなわち, 硫化銅鉱物は, 酸化帯(Rote Faule)を近くに伴う還元帯中に濃集し, 鉛・亜鉛鉱物は, 酸化還元境界から離れた還元帯の内部に濃集している(第4, 5図).

還元帯の鉱石鉱物は, 輝銅鉱, 斑銅鉱, 黄銅鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱で, 少量のテトラヘドライトを伴う. 輝銅鉱がもっとも多く含まれ, その粒径は, 100ミクロン以下である. 鉱石鉱物は, 垂直方向に規則的な変化を示し, 基底では輝銅鉱, 中程では



第4図  
グロゴウ-レグニカ地区のZechstein層下部の酸化/還元帯とCu, Pb, Znの分布 (Rydzewski, 1978).



第5図 Zechstein層下部の岩相、酸化/還元帯、ベースメタルの濃集を表す概念図 (Vaughan et al., 1989).

第5表 下シレジア地域Zechstein層下部の銅鉱石の化学組成 (Sawlowicz, 1993).

成分\鉱石	銅に富むる鉱石	初生酸化鉱	二次酸化鉱
有機炭素 (%)	13.8	0.5	4.1
S (%)	4.5	0.03	0.21
Cu (%)	18.3	0.1	0.5
Re (ppm)	8	0.2	2
Au (ppm)	0.025	< 0.005	0.54
Pt (ppm)	< 0.005	< 0.005	0.28
Pd (ppm)	0.006	0.002	0.06
分析試料数	10	2	6

斑銅鉱，上部では黄銅鉱が卓越する。輝銅鉱には，700-1,000ppmの銀が含まれる (Osika, 1986)。

銀以外の貴金属元素に関しては，ルビンとポルコピセ鉱山の銅鉱石の一部に，きわめて高濃度の金・白金族元素が含まれることが報告された。その品位は，Au 3,000ppm, Pt 10-370ppm, Pd 10-120ppmで (Kucha, 1982)，これらの貴金属元素は微粒な金属相や砒素化合物としてケロジェン・方解石に伴われている (Kucha, 1981, 1990)。世界各地のれき青炭質けつ岩中に，金や白金が濃集する傾向は知られているが，これほど高濃度の金・白金が濃集することを追認したレポートはみあたらず，“濃集層準”等の確認が必要かも知れない。最近の分析例 (Sawlowicz, 1993) を第5表に示す。

成因：含銅けつ岩層の銅の濃集メカニズムとその時期については，多くの論争がある。研究当初，この鉱床は，火山噴気-堆積性鉱床で，銅の錯体が火山活動によって海中に放出され泥灰質堆積物とともに堆積したものとされてきた (同生説)。硫黄同位体の研究から，硫化鉱物の硫黄 ( $\delta^{34}\text{S} = -33\%$ 程

度)の起源は，海水硫酸イオンのバクテリア還元であることがわかっている。ベースメタル金属の起源は，鉱床分布地域の下部ペルム系の火山噴出岩 (化学組成がbimodalのvolcanics)と結びつけられる。それは，ポーランドではこの噴出岩を欠く地域には同層準の堆積層にベースメタルの濃集が見られないためである (Osika, 1986)。グロゴウレグニカ地区やザリー地区のベースメタル濃集帯は，詳しくは含銅けつ岩層をまたいで分布する。そして銅と鉛亜鉛の含有量比は前述したように，むしろ酸化・還元帯の分布とよく対応している。顕微鏡観察では，還元帯の硫化銅鉱物と酸化帯の赤鉄鉱が，堆積直後に生じたフランボイダル黄鉄鉱を置換している。これらは，上部ペルム紀堆積層のダイアジェネシス (続成作用ともいい，堆積物が堆積直後に圧縮・脱水・鉱物成長により固結する作用)の過程で，ベースメタルの移動・沈殿が低温の層間水を介して生じた可能性を示している。酸化帯の赤鉄鉱の帯磁時期が，磁極の見かけの移動位置から，250-220Maと求められたが (Jowett et al., 1987)，この年代は含銅けつ岩の堆積時期 (256Ma)と近く，そのダイアジェネシスの時期と重なる年代である。その後英国・ドイツ・ポーランドなどの含銅頁岩を広域的に比較し，鉄の酸化を伴う「ダイアジェネシス後期」が主要な鉱化時期であるとまとめられた (Vaughan et al., 1989)。

## (2) 鉱脈鉱床

規模は小さいが，古生代変動山塊地域 (スーデチ地域とゴリースベトクルチスキ地域)に鉱脈型銅鉱床が知られている。

スーデチ地域にはミチエンカとスタラゴラの2地

区があり、いずれもバリスカン期の火成岩により形成された。

ミチエンカ地区の鉱脈は断層破碎帯中に存在。24本見ついているが、それぞれの厚さは1-3cmと薄い。黄銅鉱を主とし、輝銅鉱、斑銅鉱、コペリン、硫砒銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、硫鉄鉱を伴う。品位は不規則に、Cu 0-35%、Zn 0.3-2.5%と変化する。スタラゴラ地区のものは古生代末のひん岩の岩脈に伴う多金属脈で、黄銅鉱のほか、硫砒鉄鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、車骨鉱、黄鉄鉱、輝コバルト鉱を伴う。鉱石には金・銀が含まれる。鉱石品位は、Cu 0.7-1.6%で、Au 1-18g/t、Ag 75-200g/t。

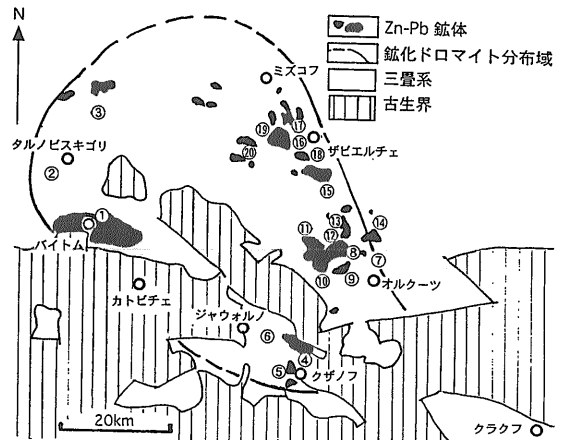
ゴリースベトクルチスキ地域には浅熱水性の銅鉱脈があり、チェシニ市近くのエチンカイ地区とキェルチェ市近くのエチエゴラ地区が知られている。

### 3.3 鉛・亜鉛

ポーランドの鉛・亜鉛鉱床は、炭酸塩岩を母岩とする層準規制鉱床(シレジアークラクフ地域)、鉱脈鉱床(ゴリースベトクルチスキ地域、スーデチ地域)、堆積性鉱床(上シレジア地域の前期古生代層)がある。

主要な鉛・亜鉛鉱床は、シレジアークラクフ地域に集中する(第6図)。この地域の鉱床は古くから稼行され、今でも国の経済を支える重要な柱となっている。ちなみに、シレジアークラクフ地域の鉛・亜鉛鉱床は、規模・品位ともオーストラリアのMac Arthur River鉱床(埋蔵量2.4億t)と、同じとされている(Gustafson and Williams, 1981)。以下にシレジアークラクフ地域の鉱床について記述する。

この地域の鉛・亜鉛鉱床はクラクフ北西の、南北50km、東西50kmの広い範囲に分布し、鉱体の分布から、西部トラフ地区(バイトム)、西部(タルノウスキゴリ)、南部トラフ地区(チュルザノフ)、東部(オルクーツ)、北東部(ザビエルチェ)に分けられる。なお、「トラフ」とは、三畳系の炭酸塩堆積層が古生層基盤岩に囲まれた細長い地区を表す。鉱床数は20以上が知られている。鉱床の開発は12世紀にさかのぼる。古くは銀と鉛の鉱床として、鉱体周辺の酸化鉱を中心採掘された。鉱体の深度が浅いものもあり、採掘に伴う陥没のために鉱体直



第6図 シレジアークラクフ地域の鉛・亜鉛鉱床の分布。  
 鉱山名：① Byton；② Tarnowskie Gory；③ Miotek-Zielona；④ Trzebieńka；⑤ Matylda；⑥ Galmany；⑦ Sikorka；⑧ Pomorzany；⑨ Olkusz；⑩ Bolesław；⑪ Krzykawa；⑫ Laski；⑬ Klucze；⑭ Jaroszwiec-Pazurek；⑮ Chechlo；⑯ Zawiercie；⑰ Marciszow；⑱ Rokitno Szlacheckie；⑲ Poreba；⑳ Goluchowice。

上の町が最近になって放棄された例もある。

現在鉱石生産中の鉱山は4つあり(採掘深度50-300m)、それらは、オルクーツ(1967開発、鉱石の年産能力60万t)、ポマズニ(1974開発、ポーランド最大の亜鉛鉱山、年220万tの鉱石生産)、トルゼピオンカ(1885年開発、1993年に、112ktの亜鉛精鉱(品位 Zn 3.5-4.0%)と40ktの鉛精鉱(品位 Pb 1.5-2.0%)を産出)、ポレスラクである(Mining Journal, 1994)。

これらの鉱床の多くは三畳系の炭酸塩岩(ドロマイト)中に形成されているが、鉱化作用はときに石炭系・デボン系のドロマイト中にも及んでいる。この地域の代表的な層序・岩相図を示す(第7図)。

5地域の鉱床の産状・構成鉱物種・鉱石の構造・化学成分にはそれぞれ個性があるが、ここでは東部地域の鉱床を代表例として紹介する。

この鉱床地域の中央部には、ポマズニ、シコルカ、オルクーツ、ポレスロウ、ラスーキ、クルツィカワの各鉱床が、北部には、クルクゼ、ジャロスズビーパズレック、チェクロ鉱床が分布する。特に、中央部の鉱床は、何枚かの“鉱床層準”があり、鉱脈と直結するネットワーク状の鉱染状鉱体も発達してい



層序	ビスコピセ地区 (鉱化域外) (バイトム西25km)	バイトム地区	オルクーツ地区
コイバ	けつ岩-ドロマイト-砂岩		
	ポルノピセけつ岩		
	タルノピセ石灰岩	タルノピセ石灰岩	タルノピセ石灰岩
	ディプロボラ ドロマイト	ディプロボラ ドロマイト	ディプロボラ ドロマイト
	カルチョピセ層 テレブラツラ層 ゴラジェ石灰岩	鉱化ドロマイト	オルクーツ層
アンター	ゴゴリン石灰岩	ゴゴリン石灰岩	ゴゴリン石灰岩
	ブロウ石灰岩 ローティアン ドロマイト	ブロウ石灰岩 ローティアン ドロマイト	ローティアン ドロマイト
	まだら状砂岩と 砂質けつ岩	まだら状砂岩と 砂質けつ岩	まだら状砂岩と 砂質けつ岩

第7図 シレジアークラフ地域の三畳系の層序と鉛・亜鉛鉱床 (黒色部) (Osika, 1986).

る。そのため、厚さ10mを越えるものも少なくない。これらのうち、ポマーズニ、オルクーツ、ボレスラウが最も重要な鉱床である。上記鉱体群のほとんどは、三畳系のドロマイト中に存在する。

**ポマーズニ鉱床:** この鉱床は、12km<sup>2</sup>の広がりをもつ。地表から80-100mを採掘中。個々の鉱体は、板状、レンズ状、ネット状で、全体として見ると平らな板状をなす。その大きさは、長さ300-1,000mで、厚さは3-10mである。鉱体は北東に向かうにつれ、より上位の層準に移行する傾向にある。鉱石は、硫化鉱物の含有量から硫化鉱と酸化鉱とに分けられる。硫化鉱の鉱石鉱物は鉄含有量の低い微粒の閃亜鉛鉱で、方鉛鉱、白鉄鉱を伴う。酸化鉱は、スミソナイト、白鉛鉱、針鉄鉱、バライト、方解石からなる。鉱石のZn:Pb比は3:1である。

**オルクーツ鉱床:** 規模はポマーズニ鉱床とほぼ同じで、鉱体の構造、鉱石鉱物も似ている。鉱床は、下部ムッセルカルク (Muschelkalk) 層中のいくつかの層準にわたって別々に発達している。鉱石のZn:Pb比は2:1である。

**鉱石の構造:** 鉱石の構造・組織は、さまざまで、石灰岩・ドロマイトの角礫を充てんする塊状または脈状の鉱石、ドロマイトに鉱染状に散在する鉱石鉱物、魚卵状ないしコロフォーム構造をもつ縞状の鉱石、カルスト性空洞に層状に堆積した鉱石などがある。硫化鉱物、特に閃亜鉛鉱は一般に微粒~細粒で、しかも著しくFeに乏しいことが特徴である。閃亜鉛鉱は、しばしば、“ブルンカイト (brunckite, コロイド状の閃亜鉛鉱)”として、記載されるほど、粒

径が細かい。ちなみに、オルクーツ鉱床のカルスト空洞にできたブルンカイトの堆積層はスモーカーの堆積物 (現世海嶺で見つかった熱水噴出物) に対比されている (Haranczyk, 1970)。さらに、ザビエルチェ鉱床では、ムッセルカルク層堆積当時、ブラックスモーカーを排出したとされる小さなベント (閃亜鉛鉱・白鉄鉱・黄鉄鉱からなる細脈) が貝化石 (腕足類) とともにデボン/三畳紀の不整合面上で見つかっている (Haranczyk, 1996)。

この地域の鉛・亜鉛鉱床内部には、層状構造が明瞭な鉱層がしばしば観察される。鉱層はカルスト性空洞を埋めたものが多いが、一部に母岩 (鉱床周囲の炭酸塩堆積岩) と同生的に生成したことを示す堆積構造がみられる。そのため、ミシシッピー型と区別され、アルパイン型とされた (Sangster, 1976)。

**化学組成:** この地域の鉱石は硫化鉱と酸化鉱とに分けられる。酸化鉱は鉱体の周辺部にみられる。以下に鉱石 (精鉱) の代表的な化学組成を示す。

成分	硫化鉱	酸化鉱
Zn	52.0-55.5	6.0-8.0
Pb	1.5-2.2	0.5-1.2
Fe	1.9-2.1	6.5-14.0
S	27.0-30.0	0.2-2.8
CaO	2.9-4.8	16.0-25.0
MgO	1.2-2.1	7.0-12.0
SiO <sub>2</sub>	0.7-0.8	2.4-8.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	1.2-2.7
H <sub>2</sub> O	-	10.0-14.0

硫化鉱・酸化鉱の化学成分のうち、Zn, Pb, Cd, AgならびにS (硫酸) は回収・生産されているが、鉱石中に存在が確認されているGa, In, Geについては、現在も未回収のままである。

**成因:** 鉱化ドロマイトとPb-Zn鉱床の成因については、いろいろな説があるが、集約的には後成的・テレサーマル・交代性となるであろう (Osika, 1990)。すなわち、塩類または有機酸などを含む低温の水溶液によって運ばれたMg, Zn, Pbが、地下のカルスト石灰岩を鉱化ドロマイトに置換したり、粘土とともにカルスト性空洞に堆積したとされる (例えば、Wodzicki, 1987)。しかし、潟湖やバックリーフの堆積環境を鉱床生成の要因とする説や、海底でのスモーカー (噴気) 堆積物とする考えもあ

る。Mg, Zn, Pb元素の起源については、火成活動による熱水溶液、海水、または、地層中の層間水に由来するなどの説がある。

Pb-Zn鉱床の形成年代についても、鉱化ドロマイトの生成時期とともに、三畳紀中期から第三紀にわたるいろいろな考えがある。

### 3.4 鉄

ポーランドの鉄鉱床は、先カンブリアから第三紀までのものがあり、しかも全国に広く分布している。鉱床タイプは、火成鉱床、変成鉱床、熱水鉱脈鉱床、堆積性鉱床などがある。堆積性鉄鉱床はほかのタイプの鉄鉱床と比べ規模が大きく、また採掘条件も良いため、多くは開発されている。堆積性鉱床の鉱石は「アイアンストーン」と称される鉄に富む化学的堆積岩である。鉱物組成は、細粒のシデライト、シャモサイト、石英からなり、鉄品位はそれほど高くない(Fe 32-36%)。リンの含有量がやや高い(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.1-0.5%)のが特徴で、鉄鉱層の近くにリン灰土層を伴うことがある。ポーランドの主な鉱床名と鉱床タイプを以下に示す。

鉱床名	鉱床タイプ	形成時代	メモ
Kremianka	火成鉱床	先カンブリア	1962発見未開発
Kowary	変成鉱床	先カンブリア	1960終掘
Rudki	熱水鉱脈	古生代	終掘、古生代変動山塊
Ossa-Bialaczow	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Prytyk	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Leczyca	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Lobez-Resko	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Niemica	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Zarki	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Kamienica Polska	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Czestochowa	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Klobuck	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Kwatkow-Strzegowa	堆積性鉱床	ジュラ紀	古生代卓状地
Stepina	堆積性鉱床	白亜紀	カルパチア帯

このうち、近年の鉱石生産に寄与しているのは、全てジュラ紀中期(Dogger)の時代の堆積性鉱床である。データは少し古いが、1976年までの生産量の90%は上シレジア地域のチェストワークロブク地区の鉱床(ザルキ、ポラジ、カミエニカポルスカ、チェストコワ、クロブク)から産出した(Osika, 1990)。これらの鉄鉱石は、近くから産出する上部石炭系の石炭(ハードコール)、石灰石、鉛・亜鉛とともに

工業都市カトビチュエの発展の基礎物質となった。

### 3.5 クロム

クロマイト鉱床はポーランド西部に1ヵ所知られている(第1図)。20世紀初め頃から開発されたが、規模は小さい。鉱体は、スーデチ地域の先カンブリア変成岩中の蛇紋岩-かんらん岩体(面積100km<sup>2</sup>)のダナイト中に産し、その形態はレンズ状ないし芋状である。鉱体の大きさは、長さ8~20m、幅4~8m、厚さ2~4m程度。開発当初から今までに約4,000tのクロマイト鉱石(品位はCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 26%)が採掘されたのみである(Osika, 1986)。

### 3.6 ニッケル

ニッケル鉱床は、上記クロム鉱床の南30kmのスーデチ地域Szklary地区の3つの丘の上に分布する。鉱床は、先カンブリア系中の蛇紋岩の岩体を覆う風化帯(風化残留層)として産出する。これらの風化帯は第三紀中新世の温暖気候のもとで生成された。風化帯の分布規模は小さいが、その厚さは10から15mである。風化帯上部は、褐色で鉄の濃集と脈状のオパールや玉ずいのみられる。下部は灰緑色で、ニッケルが濃集し採掘の対象とされている。その下位の蛇紋岩の割れ目には、脈状のマグネサイトのみられる。

鉱石鉱物はNi-ケロライト(緑色の鱗片状鉱物)、ガーニエライト(青緑色のソラマメ状鉱物)等で、鉱石品位はNi 0.5~2.5%、Fe 10~12%である。鉱床は1891年に開発され、断続的ではあるが現在まで採掘されてきた。高品位部分(Ni 1.0~2.5%)はすべて採掘済みで、現在はNi 0.7%の低品位鉱がフェロニッケルの原料用として採掘されている。

## 4. まとめ

ポーランドの地質は卓状地と、その南西端が古生代末から新生代にかけて変動を受けた岩石からなる。鉱物資源は、火成岩に伴う大規模鉱床はないが、堆積岩を母岩とする銅(けつ岩)、鉛・亜鉛(炭酸塩岩)の層状鉱床や鉄・塩類などの化学的堆積岩鉱床および石炭層が大規模に発達している。これらの鉱床の母岩は全て卓状地に発達した堆積岩である。ポーランドは「卓状地型鉱床」に卓越し

た国といえよう。

#### 参 考 文 献

- Gustafson, L.B. and Williams, N. (1981) : Sediment-hosted stratiform deposits of copper, lead and zinc. In *Economic geology 75th anniversary volume*. ed. by Skinner, B.J., *Economic Geology*. p. 139-178.
- Haranczyk, C. (1996) : Smokers derived minerals of the Silesian-Cracow Zn-Pb-ore deposits. ICAM '96
- Jowett, E.C. and Pearce, W.G. (1987a) : A Mid-Triassic Paleomagnetic age of the Kupferschiefer mineralization in Poland, based on a revised apparent Polar Wander Path for Europe and Russia. *J. Geophys. Research* vol. 92, no. B1, p. 581-598.
- Kucha, H. (1982) : Platinum-Group metals in the Zechstein copper deposits, Poland. *Economic Geology*, vol. 77, p. 1578-1591.
- Osika, R. (1986) : Poland. In *Mineral deposits of Europe*. vol 3. Central Europe. p. 55-97. Inst. Mining and Metallurgy, Mineralogical Soc.
- Osika, R., ed. (1990) : *Geology of Poland*, vol. 6. Mineral Deposits.

- 314p. Geological Institute of Poland.
- Sangster, D. F. (1976) : Carbonate hosted lead-zinc deposits. p. 447-456. In Wolf, K.H. ed., *Handbook of stratabound and stratiform ore deposits*, vol. 7, chap. 9, Elsevier, Amsterdam.
- Sawlowicz, Z. (1993) : Iridium and other platinum-group elements as geochemical markers in sedimentary environments, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 104, p. 253-270.
- Vaughan, D.J., Seeney, M., Friedrich, G., Diedel, R. and Haranczyk, C. (1989) : The Kupferschiefer: An overview with an appraisal of the different types of mineralization. *Economic Geology*, vol. 84, p. 1003-1027.
- Wodzicki, A. (1987) : Origin of the Cracovian-Silesian Zn-Pb deposits. *Annales Societatis Geolog. Poloniae*. vol. 57, p. 3-36.
- 主なもののみ示した。ポーランドの地質・鉱床の詳細な文献はOsika (1986, 1990)を参照。

---

HIRANO Hideo (1998) : *Metallic mineral resources of Poland*.

---

<受付：1998年9月11日>

#### <東欧メモ4> ヨハネ パウロ二世

1920年、ポーランドのクラクフ市近郊バドビチェ生まれ。クラクフの枢機卿を経て、1978年に、非イタリア人としては、456年ぶりにローマ法王に選出されました。世界平和への関心が強く、81年には広島・長崎を、最近キューバを訪問しました。法王としてポーランドに幾度か里帰りして、共産国での自主管理労組「連帯」の誕生と発展に強い影響を与え、「連帯」の活動が東欧革命の原動力となりました。共産圏出身者として89年12月にソ連のゴルバチョフ書記長と会談し、ロシア革命以来70余年続いたソ連とパチカンの宗教上の冷戦が終わりました。それは、米ソ首脳により東西の冷戦体制の終結が確認される直前でした。(H)

#### <東欧メモ5> カトビチェ

ポーランド最大のシロンスク工業地帯の中核となった工業都市で、上シレジア地方に位置する。石炭・鉄・銅・鉛・亜鉛・石灰石・岩塩などの大鉱山に近く、製鉄・精錬・コークス・化学製品などの大規模工場が集中している。東欧の大気汚染(公害)都市として、チェコのモスト、旧東独のビターフェルトなどとともにはしばしば登場。これら三都市は、大量の石炭・褐炭を生産、消費していることが共通点。三都市をそれぞれ中核とするポーランド南部、チェコ北部、旧東独南部を囲む範囲は、環境問題の専門家から「黒いトライアングル」とよばれている。(H)