特 別 講 演

硫化鉱物および関連鉱物の合理的分類

A Rational Classification of the Sulfide and
Related Minerals

I. Kostov*

砂 川 一 郎 (Ichiro Sunagawa)**訳

雲雀派と蛙派と
歌の議論かな

居酒屋の
喧嘩むしだす
朧月

正岡子規 (1867—1902)

は じ め に

鉱物の分類法は鉱物学者の数ほどあるという云い方にはある種の真実がふくまれている。しかし実際には大部分の鉱物学者は鉱物の体系には余りこだわらず広範な鉱物学の分野から特定の問題をえらびだしてとり組むことで満足している。鉱物の体系化に興味をもっている人間や「雲雀派と蛙派」のように鉱物を如何に分類すべきかについて今なお議論を続けている人間は、鉱物の適切な分類のもっている意義を十分よく認識している。Orcel (1954) の言葉を引用すれば

“Une bonne classification est un instrument de recherche; elle est la base fondamentale de tout travail théorique permettant de s'élever du singulier au par-

* ブルガリア, ソフィヤ大学

** 東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室

ticulier et du particulier au général”

であり、また Wuensch (1974) の言葉を使えば、

“A classification scheme should possess some predictive power.”

である。

本論文では、天然物としての鉱物の分類法に関する著者の考え一般をまず要約して説明し、次いでこの考えに従って硫化鉱物および関連鉱物の詳細な分類を述べることにする。

分類の傾向

鉱物は、今日一般に行なわれているような、特定の原子的構造をもった化学元素や化合物として単純に取扱われるべきではない。鉱物は地球の歴史の産物であり、組成や構造のほかに、そのタイプや共生関係の特徴にみられるように、それらが結晶化した地質学的な状況からの影響を反映している存在である。

今日の鉱物分類法の大部分は、化合物のタイプ、ないしは構造の体系にもとづいて配列が行なわれる、いわゆる純粋に結晶化学的な分類法である。後者の場合にはこれにつづいて結合タイプによる細分がなされる。稀に、ある物理的性質（たとえば Moenke 1964 による赤外スペクトル）、形態のみ（たとえば Niggli, 1926）、あるいは鉱物のできた地質学的なプロセス（いわゆる成因論的分類）などによる分類が考えられている。

鉱物の分類法でより合理的な体系と考えられるものの最初の考えはすでに提唱されている (Kostov, 1968)。この体系は、その後地球化学的、結晶化学的および結晶成因論的考察を使ってより洗練されたものになってきている。化学的な類似性と天然でよくあらわれる鉱物組み合わせをもとに鉱物をグルーピングすることによって、地球化学と結晶化学的な原則が強調され、また分類系統に元素の類質同像置換もとりこまれてきた。第1図と第2図に、本分類大系で採用されている最初の主要な細分系統を示す。第1図では構成する陰イオンによって鉱物を対比させ、この細分は類 (class) に対応する。第2図には構成する金属（陽イオン）によって鉱物を対比し、二番目に重要な細分である金属組み合わせ (assemblage) ないし組 (association) という細分が生れることを示してある。後者の組み合わせは第2図に示したように対応する金属3種類の組であらわされている。第1図中の類の並べ方は、従来慣習にとられている系統に従っているが、他の鉱物分類法と比較すると本質的な違いをふくんでいる。ここで提案した類のうちで上むきの流れは、金属および共有的な鉱物からイオン結合鉱物へむかう流れであり、最初イソデスミック (isodesmic) な化合物からはじまり、ついでメソデスミック (mesodesmic)、最後にアニソデスミック (anisodesmic) な化合物

第1図 提案した鉱物分類での一般的な系統

第2図 主要な金属的（陽イオンの）組み合わせ

へと移り、その形成の傾向は、Eh が徐々にこの順序で大きくなり、主として内成的な形成環境から外成的な形成環境へと移化する傾向をもっている。炭素群は無機および有機的な鉱物両者の出発点であり、ダイヤモンドと石墨とがそれぞれを代表する橋渡しの鉱物である。第2図の金属組み合わせでみられる上むきの傾向もまたはっきりときまった地球化学的、結晶化学的規則性と親和力に従っており、特に注釈を要しないであろう。

3番目の重要な細分として結晶構造の非等方性から生れる構造タイプ (structural type) が考慮に入れられている。主なタイプ4種があり、すなわち軸型 (axial) ないし鎖型 (chain-like) (一次元的) のタイプ、平板型 (planar) ないし層状型 (sheet-like) (二次元的) なタイプ、偽立方型 (pseudocubic) ないし立方型 (isometric) (三次元的) なタイプの4種で、それぞれ特有の晶相・晶癖の発達を示し、それは天然での結晶作用の条件を示してくれるものである (Kostov 1968)。鉱物の結晶成因論的な変化を解釈する際に重要な成長機構の変化 (Sunagawa 1977) も、変化した結晶を注意深く研究することによってとり込むことができる。このようにして鉱物の厳密な成因に関してよりよいアイデアがえられるであろう。

構造タイプによる各細分中に組成や鉱物の原子構造上での類似性をもとにして鉱物の群 (group) をふくめる。したがって、鉱物の一般的な分類は次のごとくなる。

類 (class) → 金属的組み合わせ (metallic assemblages) → 構造タイプ (structural types) → 鉱物群 (mineral groups) → 種 (species)

第3図 主要硫酸塩鉱物の形成順序と温度。その組成は三角図表上に丸印で示してある。斜線部は優位な組成。
A—主として軸型, (I)—主として偽立方型, P—主として平板型構造タイプ。

第4図 数種の硫塩鉱物の安定領域 (Chang-Bever, 1973)

硫化鉱物および関連鉱物の分類

硫化鉱物並びに関連鉱物の分類では多くの試みがなされてきたが、この鉱物種の包括的な分類で一般的に受け入れられている体系は今までのところまだない。硫化鉱物の全てないしは一部を取扱つたものに、Palache-Berman-Fron del (1944), Hiller (1953), Strunz (1957), Povarennyck (1963), Takéuchi and Sadanaga (1969), Nowacki (1969) などの分類がある。これらの分類の大部分では硫化鉱物それ自体よりもむしろその結晶構造の体系化が強調されており、したがってそれらは本質的に構造的幾何学的分類法である。

鉱物の組成を構成する元素の地球化学的關係を考慮し、結晶化学的な特性と結晶成因論的な発達に関するアイデアを与えてくれるそれらの結晶構造の非等方性を考慮に入れて、前述の分類系統に従うと、硫化鉱物および関連鉱物の詳細な分類が以下にのべるような形でえられ、これは文献上に従来提唱されている分類法よりもはるかに自然に近い分類法であると考えられる。はっきりさせるために、群と群の間にはひろいスペースを設け、群の名前をイタリックで示した鉱物名であらわしてある。

ここで提唱した分類法のもつ意義は、これらの鉱物の共生関係、性質および結晶作用の条件を比較するとき明らかになる。この点で、適切な例として硫塩鉱物を第3図に示したように引用することができよう。第4図に示した実験的研究 (Chang and Bever, 1973) と対応する鉱物の天然での形成温度や順序に従って組成三角図表を並べてある。これらの鉱物の示す傾向、すなわち、含 Bi 硫塩鉱物は大部分軸型 (A) であり、含 Sb 硫塩鉱物は偽立方型 (I)、含ヒ素硫塩鉱物は平板型 (P) であるという傾向は、それらの結晶の晶相、晶癖の変化をも通して、静的ではなく動的な形で、この構造タイプのもつ意義を強調している。共生図表と実験的研究で示されている天然の組み合わせには、結晶化する構成物と溶解する構成物との間の非常に複雑な相互作用 (Sugaki-Shima-Kitakaze, 1976) がふくまれているかも知れないが、ここで提案した分類法の一般的な傾向は、この種の複雑さともよくあい、成因論的な解釈にうまく使うことが可能である。

A. Metallic

Pt-Pd Assemblages

Axial Types

Temagamite Pd_3HgTe_3

Planar Types

Stillwaterite Pd_8As_3

<i>Genkinit</i>	.....	$(\text{Pt}, \text{Pd})_4\text{Sb}_3$
(Pseudo-) Isometric Types		
Telargpalite	.....	$(\text{Pd}, \text{Ag})_{4+x}\text{Te}$
Guanglinite	.....	\text{Pd_3As
Atheneite	.....	$(\text{Pd}, \text{Hg})_3\text{As}$
Stibiopalladinite	.....	$\text{Pd}_{5+x}\text{Sb}_{2-x}$
<i>Mertieite I</i>	.....	\text{Pd_3Sb
Mertieite II	.....	$\text{Pd}_8(\text{Sb}, \text{As})_3$
Isomertieite	.....	$\text{Pd}_5(\text{Sb}, \text{As})_2$
Arsenopalladinite	.....	$\text{Pd}_5(\text{As}, \text{Sb})_2$
Palladoarsenite	.....	\text{Pd_2As
Borovskite	.....	\text{Pd_4SbTe_4
Palladseite	.....	$\text{Pd}_{17}\text{Se}_{15}$
Oosterboshite	.....	\text{Pd_7Se_5
Polarite	.....	\text{PdBi
<i>Sudburyite</i>	.....	\text{PdSb
Stumpflite	.....	\text{PtSb
Ruthenarsenite	.....	\text{RuAs
<i>Cooperite</i>	.....	\text{PtS
Braggite	.....	$(\text{Pt}, \text{Pd})\text{S}$
Vysotskite	.....	$(\text{Pd}, \text{Ni})\text{S}$
Kotulskite	.....	\text{PdTe
Insizwaite	.....	\text{PtBi_2
<i>Froodite</i>	.....	\text{PdBi_2
Geversite	.....	\text{PtSb_2
<i>Sperryite</i>	.....	\text{PtAs_2
Iridarsenite	.....	\text{IrAs_2
Platarsite	.....	$\text{Pt}(\text{As}, \text{S})_2$
<i>Laurite</i>	.....	\text{RuS_2
Erlichmannite	.....	\text{OsS_2
Merenskyite	.....	\text{PdTe_2
<i>Irarsite</i>	.....	\text{IrAsS
Hollingworthite	.....	\text{RhAsS
Osarsite	.....	\text{OsAsS
Michenerite	.....	\text{PdBiTe

TestibiopalladinitePdSbTe

Ni-Co-Fe Assemblages

Axial Types

MilleriteNiS

Mäkinenite γ -NiSe

RasvumiteK₃Fe₉S₁₄

Planar Types

MaucheriteNi₁₁As₈

ParkeriteNi₃Bi₂S₂

ShanditeNi₃Pb₂S₂

HauekorniteNi₉Bi₂S₈

Valeriite2(Fe, Cu)S. 3Mg(OH)₂

Tochilinite I6Fe_{0.9}S.5(Mg, Fe)(OH)₂

Tochilinite II6Fe_{0.8}S.5(Mg, Fe)(OH)₂

SmythiteFe₃S₄

(Pseudo-) Isometric Types

DieneriteNi₃As

OrceliteNi₂As

HeazlewooditeNi₃S₂

GodlevskiteNi₇S₆

Pentlandite(Ni, Fe)₉S₈

CobaltpentlanditeCo₉S₈

JerfischeriteK₇Fe₂₄CuS₂₈Cl

GentneriteCu₈Fe₃Cr₁₁S₁₈

BreithauptiteNiSb

NickeliteNiAs

Langisite(Co, Ni)As

Westerveldite(Fe, Ni)As

ModeriteCoAs

JaipuriteCoS

TroiliteFeS

MachinawiteFeS

PyrrhotiteFe_{1-x}S

Sederholmite β -NiSe

Freiboldite γ -CoSe

AshavaliteFeSe

Imgreite	FeTe
Heideite	(Fe, Cr)(Ti, Fe) ₂ S ₄
Polydymite	Ni ₃ S ₄
Trüstedtite	Ni ₃ Se ₄
Siegenite	CoNi ₂ S ₄
<i>Linnaeite</i>	Co ₃ S ₄
Carrolite	CuCo ₂ S ₄
Fletcherite	(Cu, Co, Ni) ₃ S ₄
Tyrrellite	(Cu, Co, Ni) ₃ Se ₄
Violarite	FeNi ₂ S ₄
Greigite	Fe ₃ S ₄
Indite	FeIn ₂ S ₄
Daubreelite	FeCr ₂ S ₄
Brezinaite	Cr ₃ S ₄
Nisbite	NiSb ₂
<i>Rammelsbergite</i>	NiAs ₂
Pararammelsbergite	NiAs ₂
Safflorite	CoAs ₂
Clinosafflorite	CoAs ₂
Loellingite	FeAs ₂
<i>Pyrite</i>	FeS ₂
Cattierite	CoS ₂
Vaesite	NiS ₂
Trogtalite	CoSe ₂
<i>Penroseite</i>	NiSe ₂
Kitkaite	NiTe ₂
Melonite	NiTe ₂
Kullerudite	NiSe ₂
Hastite	CoSe ₂
<i>Marcasite</i>	FeS ₂
Ferroselite	FeSe ₂
Frohbergite	FeTe ₂
Ullmannite	NiSbS
Gersdorffite	NiAsS

<i>Cobaltite</i>	CoAsS
<i>Costibite</i>	CoSbS
<i>Panacostibite</i>	CoSbS
<i>Alloclasite</i>	CoAsS
<i>Gudmundite</i>	FeSbS
<i>Arsenopyrite</i>	FeAsS
<i>Skutterudite</i>	CoAs ₃
<i>Smaltine</i>	(Co, Ni, Fe)As _{3-x}
<i>Chloantite</i>	(Ni, Co, Fe)As _{3-x}

Mn-V-Tl Assemblages

Axial Types

.....

Planar Types

<i>Carlinite</i>	Tl ₂ S
<i>Bukovite</i>	Tl ₂ Cu ₃ FeSe ₄
<i>Chalcothalite</i>	TlCu ₃ S ₂

<i>Patronite</i>	V(S ₂) ₂
------------------------	---------------------------------

(Pseudo-) Isometric Types

<i>Alabandine</i>	MnS
<i>β-Alabandine</i>	MnS
<i>Ninningerite</i>	(Mg, Fe, Mn)S
<i>Oldhamite</i>	CaS
<i>Hauerite</i>	MnS ₂
<i>Sulvanite</i>	Cu ₃ VS ₄
<i>(Colusite)</i>	Cu ₃ (As, Sn, V)S ₄
<i>Raguinite</i>	TlFeS ₂
<i>Picotpaulite</i>	TlFe ₂ S ₃
<i>Crookesite</i>	(Cu, Tl, Ag) ₂ Se
<i>(Galkhaite)</i>	(Hg, Cu, Zn) ₁₂ TlAs ₈ S ₂₄

Mo-W-Sn Assemblages

Axial Types

.....

Planar Types

<i>Teallite</i>	PbSnS ₂
-----------------------	--------------------

<i>Molybdenite</i>	MoS ₂
--------------------------	------------------

Drysdallite	.....	MoSe ₂
Tungstenite	.....	WS ₂
Castaignite	.....	CuMo ₂ S ₅
(Franckeite)	.....	Pb ₅ Sn ₃ Sb ₂ S ₁₄
(Cylindrite)	.....	Pb ₃ Sn ₄ Sb ₂ S ₁₄
(Pseudo-) Isometric Types		
Sistaite	.....	SnSb
<i>Herzenbergite</i>	.....	SnS
Ottemanite	.....	Sn ₂ S ₃
Berndtite	.....	SnS ₂
Montesite	.....	PbSn ₄ S ₅
(Stannite)	.....	Cu ₂ FeSnS ₄
(Kesterite)	.....	Cu ₂ ZnSnS ₄
(Stannoidite)	.....	Cu ₈ Fe ₂ (Fe, Zn)Sn ₂ S ₁₂
(Mawsonite)	.....	Cu ₆ Fe ₂ SnS ₈
(Colusite)	.....	Cu ₃ (As, Sn, V)S ₄
(Hemusite)	.....	Cu ₆ MoSnS ₈

Zn-Cu-Pb Assemblages

Axial Types

Betekhtinite		(Cu, Fe) ₂₁ Pb ₂ S ₁₅
--------------	-------	--

Planar Types

Umangite	.....	Cu ₃ Se ₂
Athabascaite	.....	Cu ₃ Se ₄
Rickardite	.....	Cu _{4-x} Tc ₂
<i>Covellite</i>	.....	CuS
Klockmannite	.....	CuSe
Vulcanite	.....	CuTe

(Pseudo-) Isometric Types

Horsfordite(?)	.....	Cu ₆ Sb
<i>Algodonite</i>	.....	Cu ₆ As
Novakite	.....	(Cu, Ag) ₄ As

α-Domeykite	.....	Cu ₃ As
Kutinaite	.....	Cu ₂ AgAs
Cuprostibite	.....	Cu ₂ Sb
Koutekite	.....	Cu ₂ As
<i>Chalcocite</i>	.....	Cu ₂ S
Djurleite	.....	Cu _{1.96} S

Digenite	Cu_9S_5
Anilite	Cu_7S_4
Bellidoite	Cu_2Se
Berzelianite	Cu_2Se
Weissite	Cu_2Te
Bornite	Cu_5FeS_4
Idaite	$\text{Cu}_{10}\text{Fe}_2\text{S}_{13}$
<i>Chalcopyrite</i>	CuFeS_2
Talnakhite	$\text{Cu}_9\text{Fe}_8\text{S}_{16}$
Mooihoekite	$\text{Cu}_9\text{Fe}_9\text{S}_{16}$
Haycockite	$\text{Cu}_4\text{Fe}_5\text{S}_8$
Eskebornite	CuFeSe_2
Gallite	CuGaS_2
Rokesite	CuInS_2
<i>Stannite</i>	$\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$
Kestterite	$\text{Cu}_7\text{ZnSnS}_4$
Bryartite	$\text{Cu}_2(\text{Fe}, \text{Zn})\text{GeS}_4$
Stannoidite	$\text{Cu}_8\text{Fe}_2(\text{Fe}, \text{Zn})\text{Sn}_2\text{S}_{12}$
Sakuraite	$(\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Fe})_3\text{InS}_4$
Mawsonite	$\text{Cu}_6\text{Fe}_2\text{SnS}_8$
<i>Cubanite</i>	CuFe_2S_3
<i>Tetrahedrite</i>	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
<i>Tennantite</i>	$\text{Cu}_{12}\text{As}_8\text{S}_{13}$
Freibergite	$\text{Cu}_4\text{Ag}_6(\text{Fe}, \text{Zn})\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
Galkhaite	$(\text{Cu}, \text{Hg}, \text{Zn})_{12}\text{TIAs}_8\text{S}_{24}$
Gentnerite	$\text{Cu}_8\text{Fe}_3\text{Cr}_{11}\text{S}_{18}$
Novackiite	$\text{Cu}_6\text{Zn}_3\text{As}_4\text{S}_{12}$
Lazarevicite	Cu_3AsS_4
Hakite	$(\text{Cu}, \text{Hg})_3\text{SbSe}_{13}$
Goldfieldite	$\text{Cu}_{12-x}\text{Te}_4\text{S}_{13}$
<i>Famatinite</i>	Cu_3SbS_4
Permingeatite	Cu_3SbSe_4
Luzonite	Cu_3AsS_4

Germanite	.....	\text{Cu_3GeS_4
Polkovicite	.....	\text{Fe_3GeS_4
<i>Enargite</i>	.....	\text{Cu_3AsS_4
Lautite	.....	\text{CuAsS
Shadlunite	.....	$(\text{Cu}, \text{Fe})_8\text{PbS}_8$
Hemusite	.....	$\text{Cu}_8\text{MoSnS}_8$
Fukuchilite	.....	\text{Cu_3FeS_8
Villamaninite	.....	$(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Ni})\text{S}_2$
Krutaite	.....	\text{CuSe_2
Bombolalite	.....	$\text{CuSe}_2\text{Te}_{1-x}$
<i>Sphalerite</i>	.....	$\beta\text{-ZnS}$
Wurtzite	.....	$\alpha\text{-ZnS}$
Stilleite	.....	\text{ZnSe
Howlyite	.....	$\beta\text{-CdS}$
Greenockite	.....	$\alpha\text{-CdS}$
Cadmoselite	.....	\text{CdSe
<i>Galena</i>	.....	\text{PbS
Clausthalite	.....	\text{PbSe
Altaite	.....	\text{PbTe
(Shandite)	.....	$\text{Pb}_2\text{Ni}_3\text{S}_2$
(Nagyagite)	.....	$\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te}, \text{Sb})_4\text{S}_{5-8}$
Morozeviczite	.....	\text{Pb_2GeS_4

Ag-Au-Hg Assemblages

Axial Types

(Temagamite)	.....	\text{Pd_3HgTe
(Twalchrelidzeite)	.....	$\text{Hg}_{12}\text{Sb}_8\text{S}_{15}$
(Livingstonite)	.....	\text{HgSb_4S_8

Planar Types

Nagyagite		$\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te}, \text{Sb})_4\text{S}_{5-8}$
-----------	-------	--

(Pseudo-) Isometric Types

Jalpaite	.....	\text{Ag_3CuS_2
<i>Stromeyerite</i>	.....	\text{AgCuS
Eucarite	.....	\text{AgCuSe

Mackinstryite	$\text{Ag}_{1.2-x}\text{Cu}_{0.8+x}\text{S}$
Balkanite	$\text{Ag}_3\text{Cu}_9\text{HgS}_8$
Sternbergite	AgFe_2S_3
<i>Argentopyrite</i>	AgFe_2S_3
Argyrodite	Ag_8GeS_6
Canfieldite	Ag_9SnS_6
Hocartite	$\text{Ag}_2\text{SnFeS}_4$
Friescite	$\text{Ag}_2\text{Fe}_3\text{S}_8$
<i>Dyscrasite</i>	Ag_3Sb
<i>Argentite</i>	Ag_2S
Acanthite	Ag_2S
Naumannite	Ag_2Se
Aguilarite	Ag_4SeS
Hessite	Ag_2Te
Petzite	Ag_3AuTe_2
Fischesserite	Ag_3AuSe_2
Empressite	Ag_5Te_3
Krennerite	$(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$
<i>Sylvanite</i>	AuAgTe_4
Kostovite	AuCuTe_4
Calaverite	AuTe_2
Montbrayite	Au_2Te_3
Volynskite	AgBiTe_2
<i>Cinnabar</i>	HgS
Metachinnabar	HgS
Saukovite	$(\text{Hg}, \text{Zn})\text{S}$
Tiemannite	HgSe
Coloradoite	HgTe
(Galkhaite)	$(\text{Hg}, \text{Cu}, \text{Zn})_{12}\text{TIAs}_8\text{S}_{24}$
Corderoite	$\alpha\text{-Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$

B. Sulphosalts

Fe-Cu-Pb Assemblages

Axial Types

<i>Emplectite</i>	CuBiS_2
-------------------	------------------

Cuprobismutite	$\text{Cu}_{24}\text{Bi}_{26}\text{S}_{51}$
Hodrushite	$\text{Cu}_4\text{Bi}_7\text{S}_{12}$
Neyite	$\text{Cu}_4\text{Pb}_7\text{Bi}_6\text{S}_{17}$
Nuffieldite	$\text{Cu}_4\text{Pb}_{10}\text{Bi}_{10}\text{S}_{27}$
Aikinite	CuPbBiS_8
Hammarite	$\text{Cu}_2\text{Pb}_2\text{Bi}_4\text{S}_9$
Berryite	$\text{Cu}_3\text{Pb}_2\text{Bi}_5\text{S}_{11}$
Lyndströmite	$\text{Cu}_3\text{Pb}_3\text{Bi}_7\text{S}_{15}$
Krupkaite	$\text{CuPbBi}_3\text{S}_6$
Junoite	$\text{Cu}_2\text{Pb}_3\text{Bi}_6(\text{S}, \text{Se})_{16}$
Gladite	$\text{CuPbBi}_5\text{S}_9$
Pekoite	$\text{CuPbBi}_{11}\text{S}_{18}$
Petrovicite	$\text{Cu}_3\text{PbHgBiSc}_5$
Beegerite	$\text{Pb}_6\text{Bi}_2\text{S}_9$
Heyrovskyite(?)	$\text{Pb}_{6-x}\text{Bi}_{2+x}\text{S}_9$
Goongarite	$\text{Pb}_{10}\text{AgBi}_5\text{S}_{18}$
Lillianite	$\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$
Cosalite	$\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$
Giessenite	$\text{Pb}_8\text{Bi}_6\text{S}_{17}$
Weibullite	$\text{Pb}_4\text{Bi}_6\text{S}_9$
Wittite	$\text{Pb}_8\text{Bi}_{10}(\text{S}, \text{Se})_{23}$
Kobellite	$\text{Pb}_5\text{Bi}_8\text{S}_{17}$
Galenobismutite	PbBi_2S_4
Sakharovaite	$\text{Pb}(\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{S}_4$
Bonchevite	PbBi_4S_7
Ustarasite	$\text{Pb}(\text{Bi}, \text{Sb})_6\text{S}_{10}$
Berthierite	FeSb_2S_4
Garavellite	FeBiSbS_4
Chalcostibite	CuSbS_2
Meneghinite	$\text{CuPb}_{13}\text{Sb}_7\text{S}_{24}$
Boulangerite	$\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$
Zinckenite	$\text{Pb}_9\text{Sb}_{22}\text{S}_{42}$
Tintinaite	$\text{Pb}_5\text{Sb}_8\text{S}_{17}$
Jamesonite	$\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$
Gratonite	$\text{Pb}_9\text{As}_4\text{S}_{15}$

(Aktashite)	$\text{Cu}_6\text{Hg}_3\text{As}_5\text{S}_{12}$
Planar Types	
<i>Rucklidgeite</i>	PbBi_2Te_3
<i>Aleksite</i>	$\text{PbBi}_2\text{Te}_2\text{S}$
<i>Jordanite</i>	$\text{Pb}_{14}\text{As}_6\text{S}_{23}$
<i>Dufrenoyite</i>	$\text{Pb}_2\text{As}_2\text{S}_5$
<i>Rathite</i> II	$\text{Pb}_{18.5}\text{As}_{25}\text{S}_{56}$
<i>Sartorite</i>	PbAs_2S_4
<i>Cylindrite</i>	$\text{Pb}_3\text{Sn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{14}$
<i>Hanckeite</i>	$\text{Pb}_5\text{Sn}_3\text{Sb}_2\text{S}_{14}$
Pseudoisometric Types	
<i>Wittichenite</i>	Cu_3BiS_3
<i>High-Skinerite</i>	Cu_3SbS_3
<i>Low-Skinerite</i>	Cu_3SbS_3
<i>Hakite</i>	Cu_3SbSe_3
<i>Sinnerite</i>	$\text{Cu}_6\text{As}_4\text{S}_9$
<i>Bourbonite</i>	CuPbSbS_3
<i>Seligmannite</i>	CuPbAsS_3
<i>Geocronite</i>	$\text{Pb}_{14}\text{As}_{2+x}\text{Sb}_{4-x}\text{S}_{23}$
<i>Falkmannite</i>	$\text{Pb}_3\text{Sb}_2\text{S}_6$
<i>Semseyite</i>	$\text{Pb}_9\text{Sb}_8\text{S}_{21}$
<i>Madocite</i>	$\text{Pb}_{17}\text{Sb}_{16}\text{S}_{41}$
<i>Veenite</i>	$\text{Pb}_2(\text{As}, \text{Sb})_2\text{S}_5$
<i>Playfairite</i>	$\text{Pb}_{16}\text{Sb}_{18}\text{S}_{43}$
<i>Heteromorphite</i>	$\text{Pb}_7\text{Sb}_8\text{S}_{17}$
<i>Sterryite</i>	$\text{Pb}_7(\text{Sb}, \text{As})_8\text{S}_{19}$
<i>Dadsonite</i>	$\text{Pb}_{11}\text{Sb}_{12}\text{S}_{22}$
<i>Launayite</i>	$\text{Pb}_{22}\text{Sb}_{26}\text{S}_{61}$
<i>Sorbyite</i>	$\text{Pb}_{17}(\text{Sb}, \text{As})_{22}\text{S}_{50}$
<i>Robinsonite</i>	$\text{Pb}_6\text{Sb}_{10}\text{S}_{21}$
<i>Plagionite</i>	$\text{Pb}_5\text{Sb}_8\text{S}_{17}$
<i>Guettardite</i>	$\text{Pb}_6(\text{Sb}, \text{As})_{10}\text{S}_{21}$
<i>Twinnite</i>	$\text{Pb}(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_4$
<i>Fülöppite</i>	$\text{Pb}_3\text{Sb}_8\text{S}_{15}$

Ag(Pb)-Tl-Hg Assemblages

Axial Types

Ourayite	$\text{Ag}_{12.5}\text{Pb}_{15}\text{Bi}_{20.5}\text{S}_{52}$
Eskimoite	$\text{Ag}_7\text{Pb}_{10}\text{Bi}_{15}\text{S}_{36}$
Vikingite	$\text{Ag}_5\text{Pb}_6\text{Bi}_{13}\text{S}_{30}$
Treasurite	$\text{Ag}_7\text{Pb}_6\text{Bi}_{15}\text{S}_{32}$
<i>Pavonite</i>	AgBi_3S_5
Benjaminite	$\text{Ag}_6\text{Bi}_{14}\text{S}_{24}$
Owyhecite	$\text{Ag}_2\text{Pb}_5\text{Sb}_6\text{S}_{14}$
Ramdohrte	$\text{AgPb}_2\text{Sb}_3\text{S}_7$
Fizelyite	$\text{Ag}_2\text{Pb}_5\text{Sb}_3\text{S}_{18}$
<i>Livingstonite</i>	HgSb_4S_8
Twalchreldzeite	$\text{Hg}_{12}(\text{Sb}, \text{As})_8\text{S}_{15}$
Routhierite	TiHgAsS_3
Planar Types	
Lengenbachite	$(\text{Pb}, \text{Ti})_6\text{Ag}_2\text{As}_5\text{S}_{20}$
Rathite I	$(\text{Pb}, \text{Ti})_6\text{Ag}_2\text{As}_5\text{S}_{20}$
Baumhauerite	$\text{Pb}_{11.6}\text{Ag}_{0.6}\text{As}_{15.7}\text{S}_{36}$
Wallisite	$\text{PbTiCuAs}_2\text{S}_5$
<i>Hatchite</i>	$\text{PbTiAgAs}_2\text{S}_5$
Hutchinsonite	$(\text{Ti}, \text{Pb})_4\text{As}_{10}\text{S}_{18}$
Marrite	PbAgAsS_3
<i>Pyrostilpnite</i>	Ag_3SbS_3
Xanthokonite	Ag_3AsS_3
Smithite	AgAsS_2
<i>Lorandite</i>	TiAsS_2
Vrbaite	$\text{TiAs}_2\text{SbS}_5$
Imhofite	$\text{Ti}_{5.6}\text{As}_{15}\text{S}_{25.3}$
Pierrotite	$\text{Ti}_2(\text{Sb}, \text{As})_{10}\text{S}_{16}$
Parapierrotite	$\text{Ti}_2\text{Sb}_{10}\text{S}_{16}$
Laffittite	AgHgAsS_3
Pseudoisometric Types	
Gustavite	$\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$
Schirmerite	$\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$
<i>Matildite</i>	AgBiS_2
Aeamayoite	AgBiSbS_2

<i>Freieslebenite</i>	AgPbSbS_3
<i>Diaphorite</i>	$\text{Ag}_3\text{Pb}_2\text{Sb}_3\text{S}_8$
<i>Brogniardite</i>	$\text{Ag}_3\text{PbSb}_3\text{S}_7$
<i>Nakaseite</i>	$\text{Ag}_5\text{Pb}_8\text{Sb}_{24}\text{S}_{48}$
<i>Andorite</i>	$\text{AgPbSb}_3\text{S}_6$
<i>Teremkovite</i>	$\text{Ag}_2\text{Pb}_7\text{Sb}_8\text{S}_{20}$
 Samsonite	$\text{Ag}_4\text{MnSb}_2\text{S}_6$
 <i>Polybasite</i>	$(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$
<i>Pearceite</i>	$(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{As}_2\text{S}_{11}$
 Billingsleyite	$\text{Ag}_7(\text{As}, \text{Sb})\text{S}_6$
 Stephanite	Ag_5SbS_4
 <i>Pyrargyrite</i>	Ag_3SbS_3
<i>Proustite</i>	Ag_3AsS_3
 <i>Miargyrite</i>	AgSbS_2
<i>Trechmanite</i>	AgAsS_2
 Galkhaite	$(\text{Hg}, \text{Cu}, \text{Zn})_{12}\text{TIAs}_8\text{S}_{24}$

C. Semi-Metallic

Axial Types

<i>Paraguanahuatite</i>	$\text{Bi}_2(\text{Se}, \text{S})_3$
<i>Guanahuatite</i>	$\text{Bi}_2(\text{Se}, \text{S})_3$
<i>Bismuthinite</i>	Bi_2S_3
<i>Stibiobismuthinite(?)</i>	$(\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{S}_3$
<i>Horobetsuite</i>	$(\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{S}_3$
<i>Stibnite</i>	Sb_2S_3

Planar Types

<i>Hedleyite</i>	Bi_2Te
 Joseite A	Bi_4TeS_2
Joseite B	$\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$
 Gruenlingite	Bi_4TeS_3
<i>Laitakarite</i>	$\text{Bi}_4\text{Se}_2\text{S}$
<i>Ikunolite</i>	Bi_4SeS_2

Wehrlite	BiTe
<i>Tellurobismutite</i>	Bi_2Te_3
Kawazulite	$\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$
Tetradymite	$\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$
Cziklovaite	Bi_2TeS_2
Tellurantimony	Sb_2Te_3
Getchelite	SbAsS_3
Wakabayashilite	$(\text{Sb, As})_{11}\text{S}_{18}$
Gerstlyite	$(\text{Na, Li})_4\text{Sb}_8\text{As}_2\text{S}_{17} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
<i>Orpiment</i>	As_2S_3
Pseudoisometric Types	
<i>Realgar</i>	AsS
Dimorphite(?)	As_4S_3
Duranusite	As_4S

文 献

- 1) Chang L. L. Y. and Bever J. E. : Lead sulphosalt minerals : crystal structure, stability relations and parageneses. *Miner. Sci. Engng.* 5, 181–191 (1973)
- 2) Hiller J. E. : Eine kristallchemische Systematik der Sulfide, Selenide und Telluridminerale. *N. Jb. Min. Mh.*, 145–153 (1953)
- 3) Kostov I. : *Mineralogy*. Oliver & Boyd, Edinburgh and London (1968)
- 4) Moenke H. : Kristallchemische Systematik der Mineralien auf Ultrarotspektroskopischer Grundlage II. *Monatsberichte, DAW, Berlin*, 6(8), 628–638(1964)
- 5) Niggli P. : *Lehrbuch der Mineralogie. II Spezielle Mineralogie*. Berlin (1926)
- 6) Nowacki W. : Zur Klassifikation und Kristallchemie der Sulfosalze. *Schweiz. Miner. Petr. Mitt.*, 49, 109–156 (1969)
- 7) Orcel J. : Essai sur le concept d'espèce et les classifications en minéralogie et pétrographie. *Bull. Soc. franç. Minér. Crist.*, 57, 45–69 (1954)
- 8) Palache Ch., Berman H. and Frondel Cl. *The system of Mineralogy*. John Wiley and Sons Inc., New York–London (1944)
- 9) Povarennyk A. S. : Grundsätze einer kristallchemische Klassifikation der Sulfide. *Geologie*, 12(4), 377–400 (1963)
- 10) Strunz H. : *Mineralogische Tabellen*. Leipzig, Geest & Portig K. G. (1957)
- 11) Sugaki A., Shima H. and Kitakaze A. : Hydrothermal synthesis of sulphide minerals with complex compositions. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 3–13(2), 115–129 (1976)
- 12) Sunagawa I. : Natural crystallization. *Journal of Crystal Growth*, 42, 214–223

(1977)

- 13) Takéuchi Y. and Sadanaga R. : Structural principles and classification of sulphosalts. *Zt. Krist.*, **130**, 346-368 (1969)
- 14) Wuensch B. J. : Determination, relationships, and classification of sulfide mineral structures. In 'Sulfide Mineralogy', *Miner. Soc. Am., Short Course Notes*, vol. 1, W-1-20 (1974)

(1978年 8 月18日受理)