

以上トウボ川地区の地質構造をまとめると次の通りである。

後期ジュラ紀～早期古第三紀における造構運動、NE-SWの褶曲構造形成



褶曲構造運動のある時期からNE-SW系断層の形成(NW-SEも形成されたがその後の変動で消失した?)



走向断層、深部断裂としてのNE-SW系断層に沿うアルカリ岩質貫入岩類の活動



鉍化作用の生起と鉍化帯の形成



鮮新～更新世に於けるNW-SEないしN-S系断層の形成(恐らく古い断裂の再生)

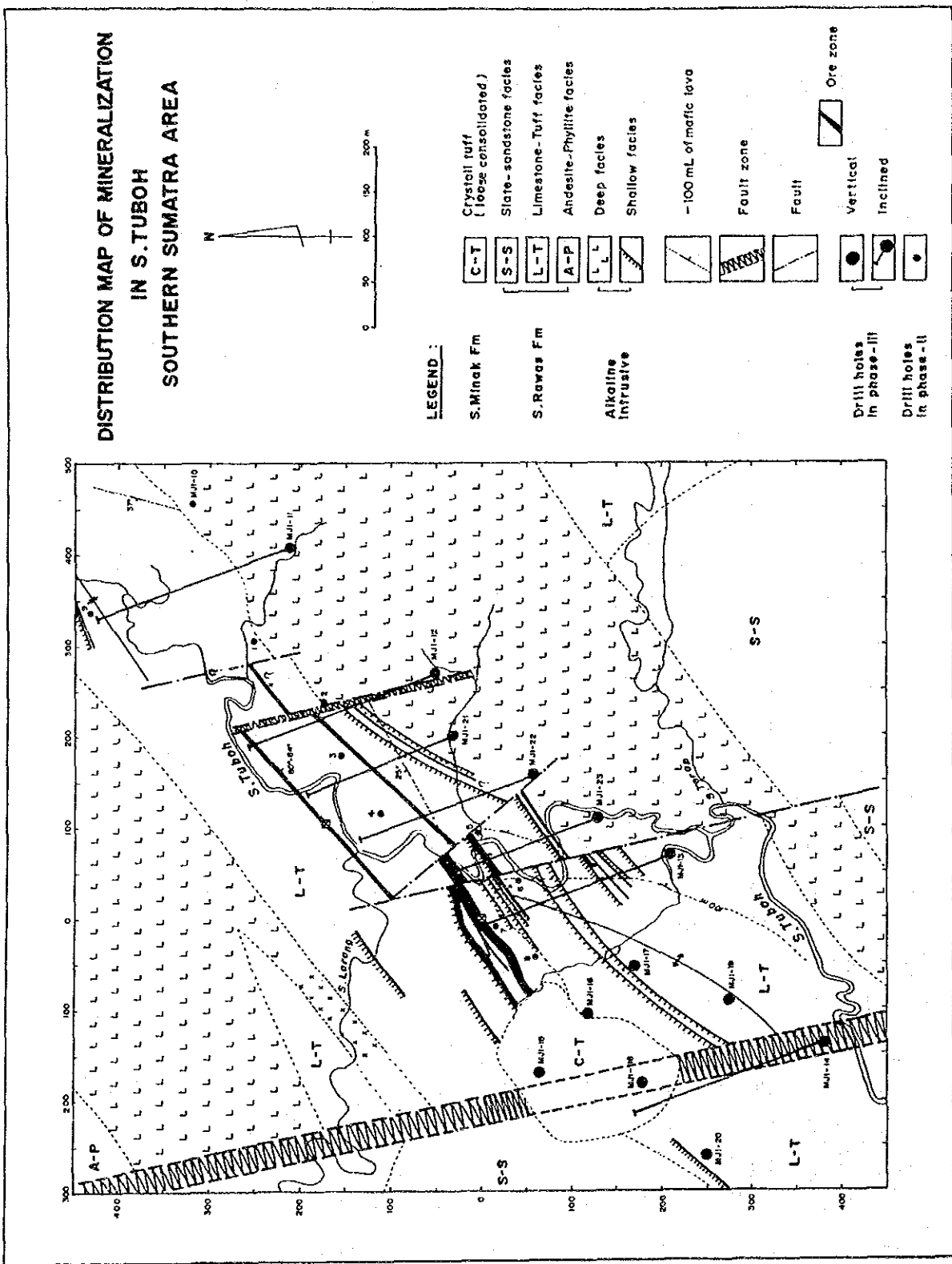
第4章 鉍化作用

これまでにトウボ川地区でその存在が明らかになった鉍化帯は、9帯である。鉍化帯の鉍物組成は、スカルン型鉍化作用を示しているが、鉍化帯の形状は一見、平行する鉍脈鉍床か層状鉍床に見える。

しかし、鉍化帯の傾斜から見限り、トウボ川地区の鉍化帯は、層準規制型の層状鉍床(Bedded sulfide)ではあり得ない。しかしながら、Sr/Sr比データは鉍化帯を構成する起源物質が堆積性であった可能性を示唆しており(第2年次)、硫黄同位体のデータは鉍化帯を構成する硫化物の硫黄(Ore sulfur)の起源が海水硫酸であることを示している。即ち、トウボ川地区の鉍化作用は、スカルン型の鉍化作用を生じるような物理的条件下における既成硫化物—層準規制型の鉍化帯としてラウス川層中に存在していた—の移動・再編・固定であることを暗示している。鉍化帯に石英(水晶)を多量に産する部分があること、珪化・脱色(セリサイト、カオリン)を主とする変質部分がしばしば認められること、脈石があまり粗粒でないことなど、スカルン型の鉍化帯としてはやや異なる産状を示すことは、トウボ川地区の鉍化作用の特異性を意味しているのかも知れない。

尚、トウボ川地区の鉍化作用がスカルン型鉍化作用に一致するデータとしては、第2年次に記載したグスタバイト(Gustavite, $Ag_2S-Bi_2S_3-PbS$ 系の銀鉍物)の産出と、硫黄同位体による地質温度計のデータがある。グスタバイトの産状は、スカルン型鉍床としてよく知られている中竜鉍山の場合に類似しており、また、硫黄同位体から得られた同位体温度の平均値 $430^{\circ}C$ は、多くのスカルン鉍床での測定値と良く一致する。更には、マーブルと鉍化帯との境界部に見られる交代組織は、スカルン鉍化作用に特有な産状と言えるもので

**DISTRIBUTION MAP OF MINERALIZATION
IN S.TUBOH
SOUTHERN SUMATRA AREA**



第16図 トウボ川地区鉱化帯分布図

ある。

鉱石・脈石鉱物については第11表のようにまとめられる。また、鉱化作用に関連する諸要素を総括的にまとめて第17図に示す。

第11表 トウボ川地区鉱化帯の鉱石・脈石鉱物

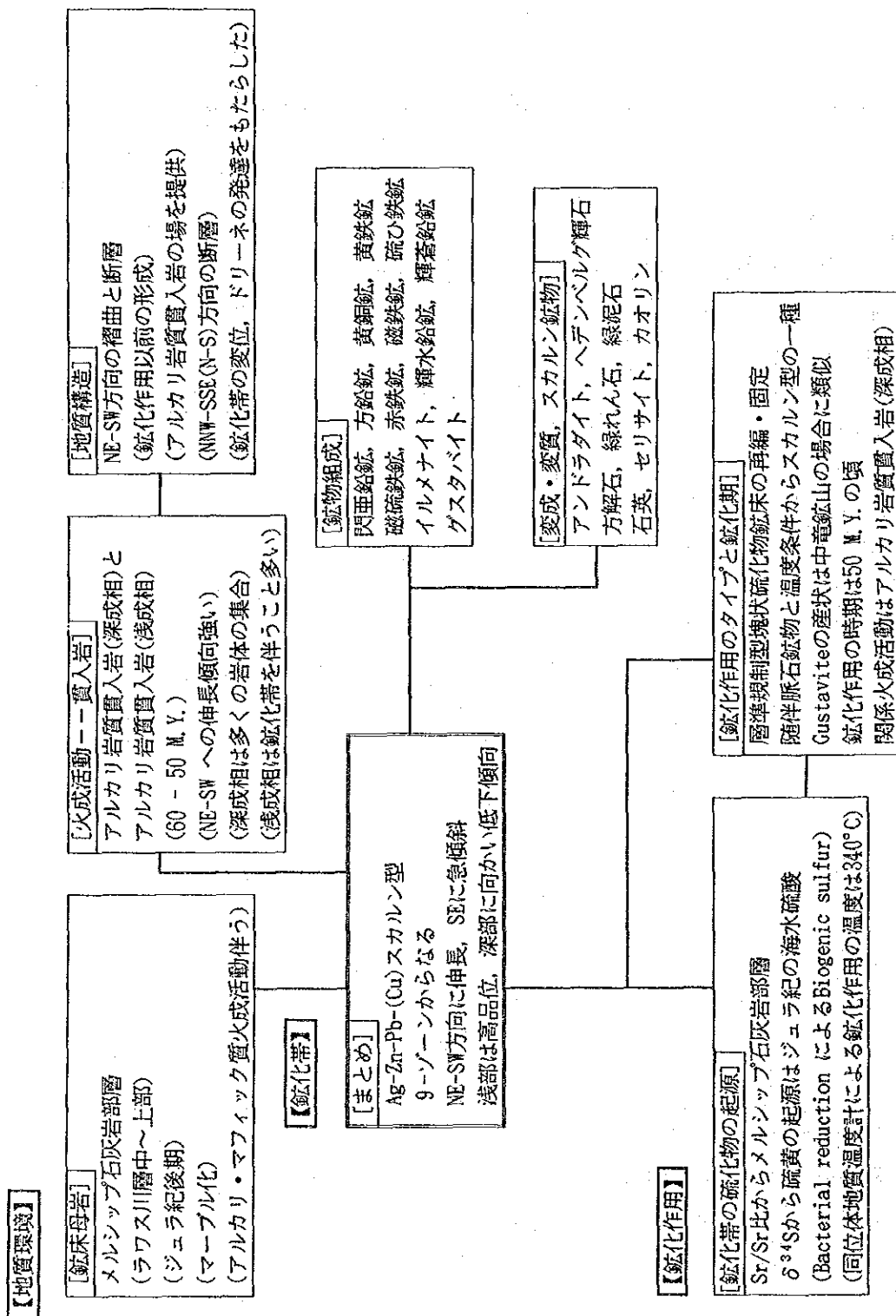
	鉱石鉱物	脈石鉱物
多量, 普遍的	閃亜鉛鉱	石英, アンドラダイト, ヘデンベルグ輝石, 方解石
多~中量, 普遍的	黄銅鉱, 方鉛鉱, 赤鉄鉱	緑泥石, 緑れん石
少量, 普遍的	黄鉄鉱, 磁硫鉄鉱	カオリン, セリサイト 混合層鉱物
突発的に多量	硫ひ鉄鉱, イルメナイト	ドロマイト, モンモリロン石
稀または 常に少量	マーカサイト, 磁鉄鉱 モリブデナイト	角閃石, タルク
微細鉱物	グスタバイト	---
鉱物組み合わせ	Sp-Gn-Cp-Py-(Gv) Sp-Gn-Cp-Py-Asp Cp-Sp-Gn-Po-Py Cp-Gn-Sp-Py-Mt Cp-Gn-Py-Sp Sp-Hm-Py-Gn Sp-Gn-Mb	(鉱石に随伴) Qt, Cc, Ad, Hd, Ep, Ch, Se (スカルン帯) Qt-Ad Qt-Ad-Hd Qt-Cc-Ad-Ep
肉眼的な普通の 鉱物組み合わせ	Sp-Gn-Qt-Hd-Ad-Ep Sp-Gn-Cc-Ad-Qt Cp-Sp-Cc-Ad-Po Sp-Gn-Hd	

Sp:Sphalerite, Gn:Galena, Cp:Chalcopyrite, Po:Pyrrhotite, Py:Pyrite

Mt:Magnetite, Hm:Hematite, Mb:Molybdinite, Gv:Gustavite

Qt:Quartz, Ad:Andradite, Hd:Hedenbergite, Cc:Calcite, Ep:Epidote

Ch:Chlorite, Se:Sericite



第17図 トウボ川地区鉍化特性のまとめ

尚、鉍化帯の南東側に位置するアルカリ岩質貫入岩(深成相)の北西側の縁辺部とマーブルとの間には、微量の磁硫鉄鉍を伴うだけの殆ど不毛なスカルン帯が発達している。グロシュラー、ベスブ石、石英、カリ長石、透輝石等からなるもので、このほか、エジリン輝石、オリビン、磁鉄鉍、磁硫鉄鉍、クロマイト等、マフィック質アルカリ岩に由来すると見られる鉍物を交える部分がある。より後期貫入のアルカリ岩質貫入岩(深成相)が、石灰質岩と早期貫入のアルカリ岩質貫入岩(深成相)を交代したために生じたスカルンと考えられる。

第5章 埋蔵鉍量試算

第2年次、第3年次の2年間にトウボ川地区で実施した23孔、4,680mのボーリング調査により捕捉した、ある程度のまとまりと広がりのある鉍化帯は、都合9帯である。これらのうち、後に掲げる条件に基づいて埋蔵鉍量計算の対象とした7帯の鉍化帯の計算結果を第12表に示す。また、これら鉍化帯の垂直面投影を第19図1～3に示す。第19図の投影面はの方向は、鉍化帯に平行なN50°E-S50°Wである。

埋蔵鉍量には、可採粗鉍量とは異なり、採掘法やそれに基づく制約条件がない。要は地質・鉍床学的鉍物存在量を適確に見積もることが出来れば良いわけで、探査の段階を考慮し、今回は次のような条件を設定した。

【埋蔵鉍量計算条件】

- ① 例え断層で分割されていても、地質的にみて2孔以上のボーリングで捕捉したと考えることの出来る鉍化帯であること、または、1孔のみでの捕捉であっても、ある程度の走向・傾斜延長が見込める鉍化帯であること。
- ② コアー長にして連続1m以上の長さ(着鉍幅)があること、または、品位×コアー長が④に定める数値以上であること。
- ③ 計算深度は、鉍化帯により異なるが、基準面(MJI-7の地上高さ=0m)下最大-300mまでとする。
- ④ 計算対象成分は、Au, Ag, Cu, Pb, Znとし、それぞれの限界品位を一連続の鉍化帯の平均値として次の通りに定め、いずれかの成分がこの条件を満たせば計算の対象とする。
$$\text{Au} \geq 0.5 \text{ g/t} \quad \text{Ag} \geq 5 \text{ g/t} \quad \text{Cu} \geq 0.5 \% \quad \text{Pb} \geq 1 \% \quad \text{Zn} \geq 1 \%$$
- ⑤ 岩石及び鉍石の比重は、3.5とした。

なお、鉍石の比重は、金属の含有量(=品位)に応じて連続的に変化するのが普通であり、品位区分による幾つかの値を採用すべきであるが、ここではあくまでも

概略的な鉱量の見積もりという観点から、上の値によった。

計算結果を眺めると、D₂(=旧D-2)が、埋蔵鉱量の上でも、品位的に見てもトウボ川地区の鉱化帯の主要部をなすことがわかる。D₇は、品位的に優れ、D₆(=旧D-6)は連続性において優位にあることがわかる。

第12表 埋蔵鉱量計算表

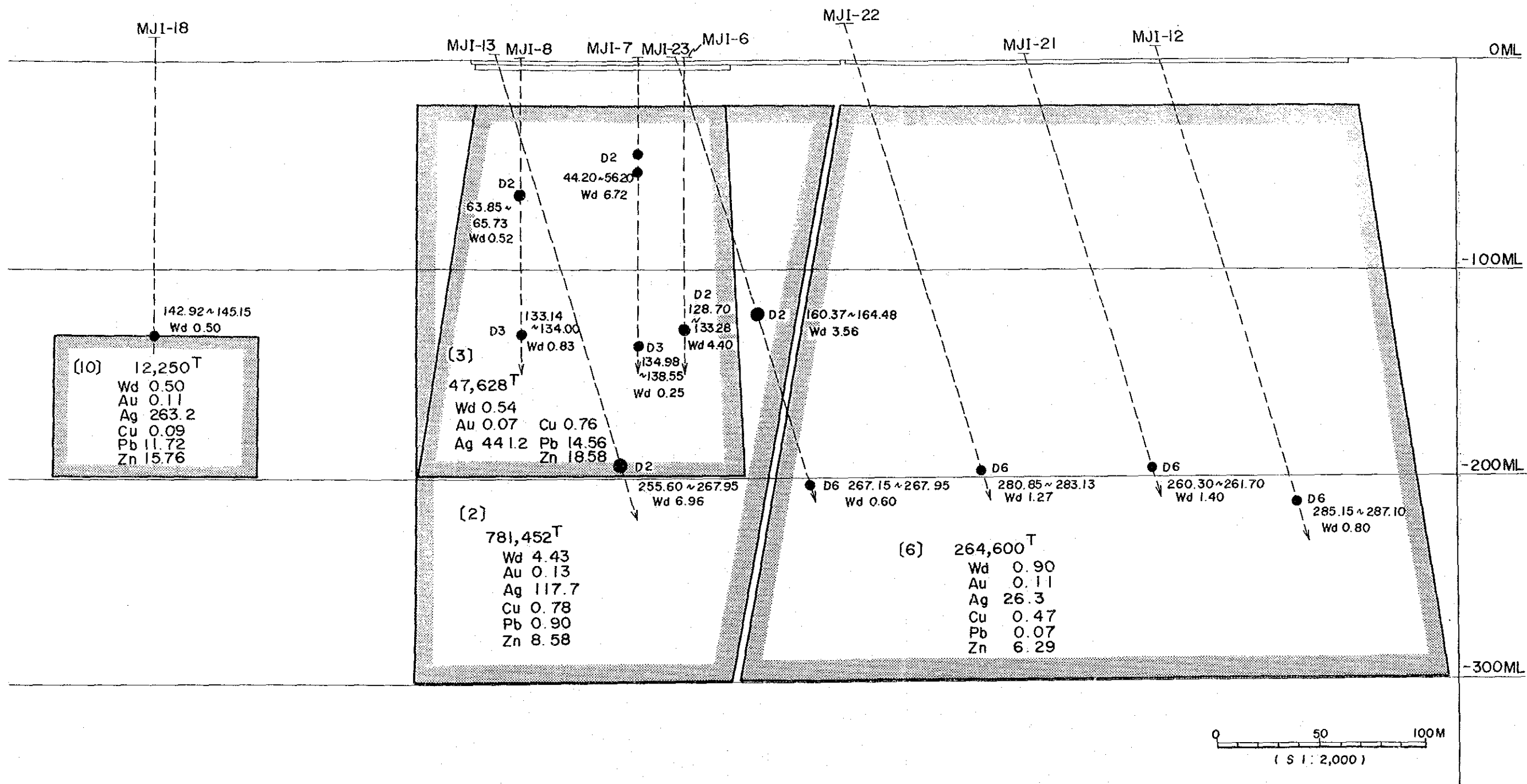
鉱化帯名	面積 m ²	幅 m	容積 m ³	比重	埋蔵鉱量 t	品位				
						Au	Ag	Cu	Pb	Zn
D ₁	126,575	0.90	113,917	3.5	398,709	0.09	105.2	1.10	1.69	8.05
D ₂	50,400	4.43	223,272	3.5	781,452	0.13	117.7	0.78	0.90	8.58
D ₃	25,200	0.54	13,608	3.5	47,628	0.07	441.2	0.76	14.58	18.58
D ₆	84,000	0.90	75,600	3.5	264,600	0.11	26.3	0.47	0.07	6.29
D ₇	96,350	0.68	65,518	3.5	229,313	0.07	187.9	0.60	0.84	18.47
D ₈	13,000	0.35	4,550	3.5	15,925	0.14	378.0	3.20	4.20	14.50
D ₉	13,000	0.28	3,640	3.5	12,740	0.20	1,220.0	0.79	5.42	36.40
D ₁₀	7,000	0.50	3,500	3.5	12,250	0.11	263.2	0.09	11.72	15.76
合計		1.21			1,762,617	0.11	130.4	0.80	1.45	9.98

含有金属量	
金属	含有量
Au	192.1 kg
Ag	229,768.1 kg
Cu	14,084 t
Pb	25,622 t
Zn	175,868 t

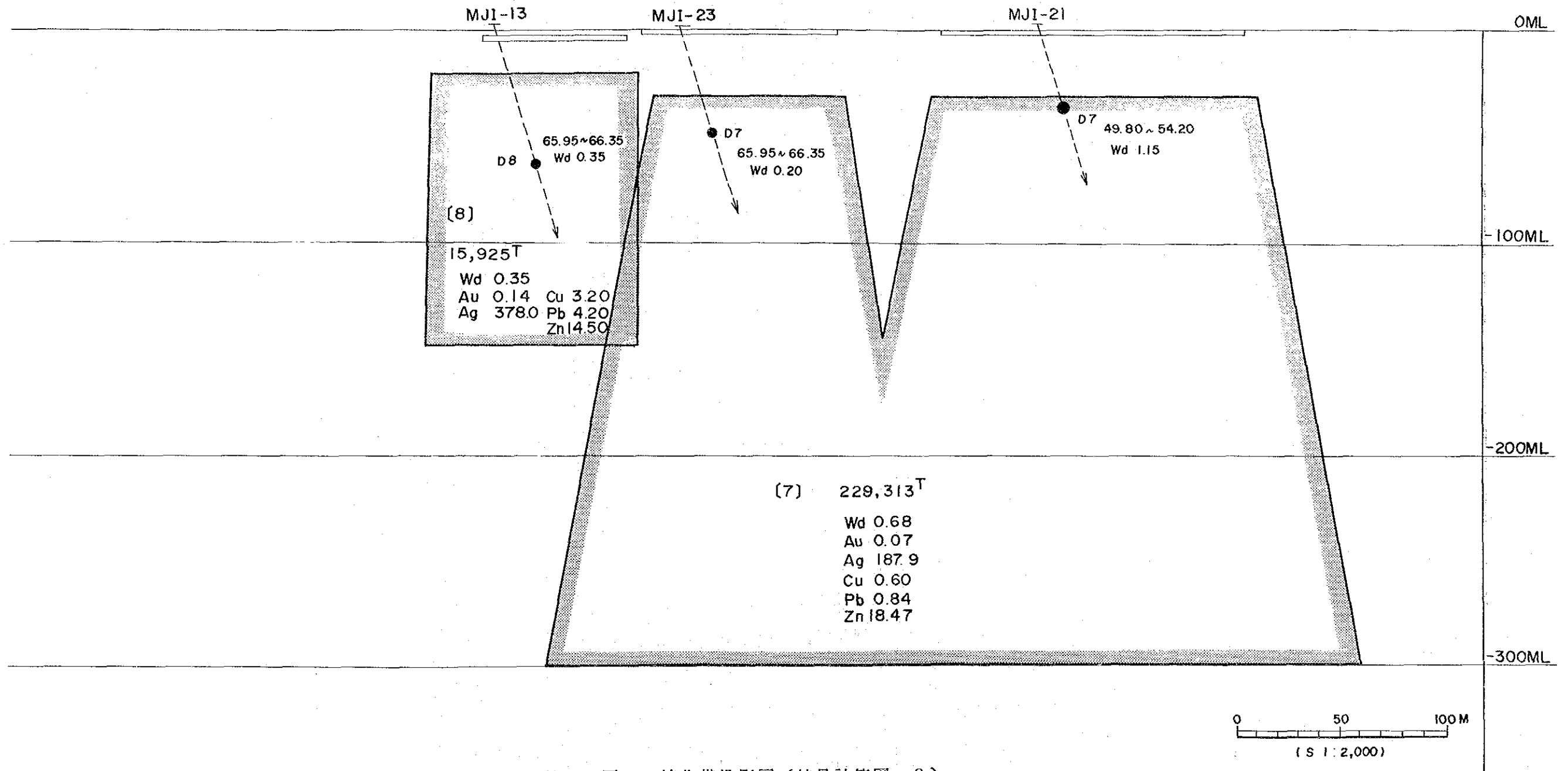
概算したトウボ川地区の金属について、その総合実収率(賦存率 + 採掘実収率 + 選鉱実収率 + 精錬実収率)を、65%としてその経済価値を計算すると、156,000,000 us\$となる。

但し、この計算では金属種相互間に換算率を適用した訳ではなく、単にそれぞれの金属量に総合実収率を乗じ、更に金属価格を乗じたものである。

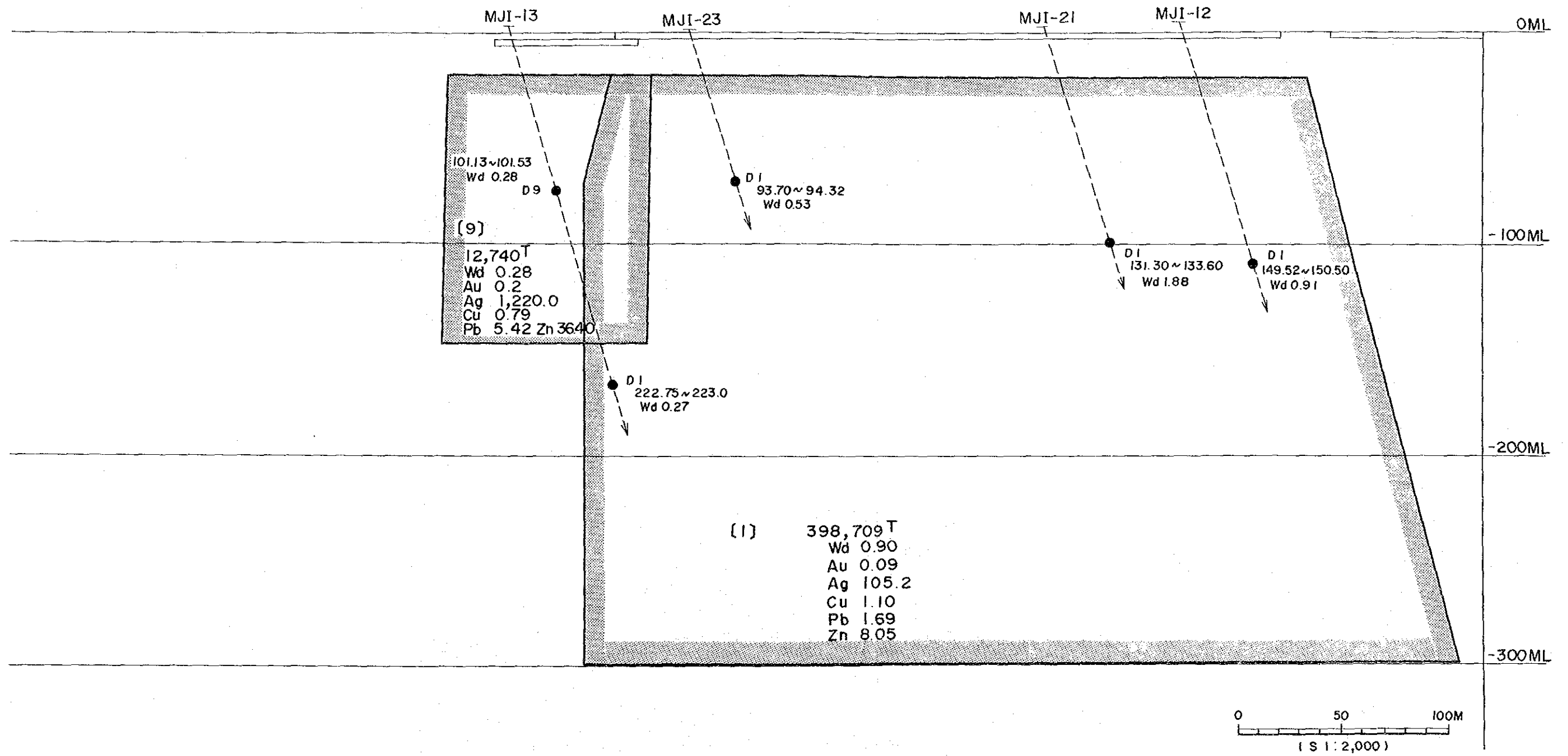
各金属の価格は次の通りとした。



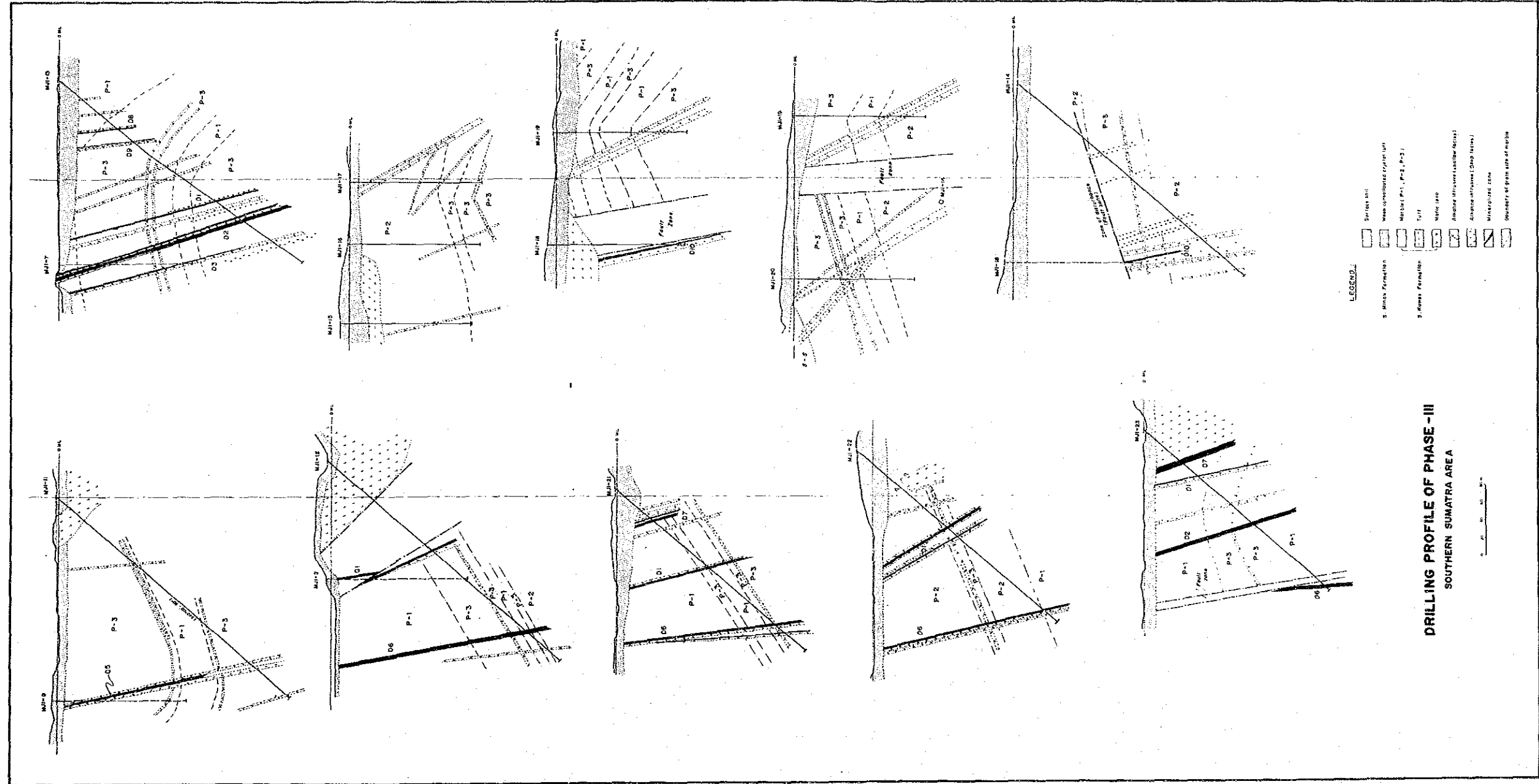
第18図 鉛化帯投影図（鉛量計算図-1）



第18図 鋅化帯投影図(鋅量計算図-2)



第18図 鉍化帯投影図(鉍量計算図-3)



第19図 ボーリングによる鉱化帯断面図

金	450 \$/oz t
銀	700 ¢/oz t
銅	1,750 \$/t
鉛	600 \$/t
亜鉛	830 \$/t

この鉱量試算の結果をどう扱うかがトウボ川地区の今後の問題である。これまでの探査は、開発可否を決定するには未だ十分とは言えず、今後更に鉱量・品位の精度を上げるような探査を行う必要がある。また、これまでに発見した鉱化帯の周辺には未探査部分があるので、この部分の探査を行えば鉱量の増加が期待できる。更には、トウボ川地区の既知鉱化帯だけを対象とするのではなく、もう少し広い地域、例えばトウボ川地区とその周辺地域を含めた地域の探査を行い、鉱量の増加を図り、トウボ川地区もこの地域の中でとらえる、という考え方もできる。この地域にはクリン川及びスパン川と呼ばれる二つの鉱化帯があり、又、北西ニラオ川中流のやや広いマーブルの分布もスカルン型鉱床の探査という面から興味深い。よって、比較的近い位置にあるこれらの探査を行った上で、地域的な鉱量ポテンシャルを把握し、将来方針を決定するののも一つの方向と考えられる。

第6章 ボーリング調査

6-1. ボーリング調査量

トウボ川地区で実施したボーリング調査量は第13表に掲げた通り、23孔、4,680.90 mである。またボーリング調査に伴って実施したコア等にかかる試験・分析は、278-試料となっている。このうち鉱化部分の品位分析は132個、714件である。第21図に第2年次および第3年次のボーリング調査孔の位置を示した。

6-2. ボーリング調査作業状況

ボーリング調査作業は、第2年次では試錐機1台、1チームで、第2年次では試錐機2台、2チームで行った。通常掘進時は3方作業とした。

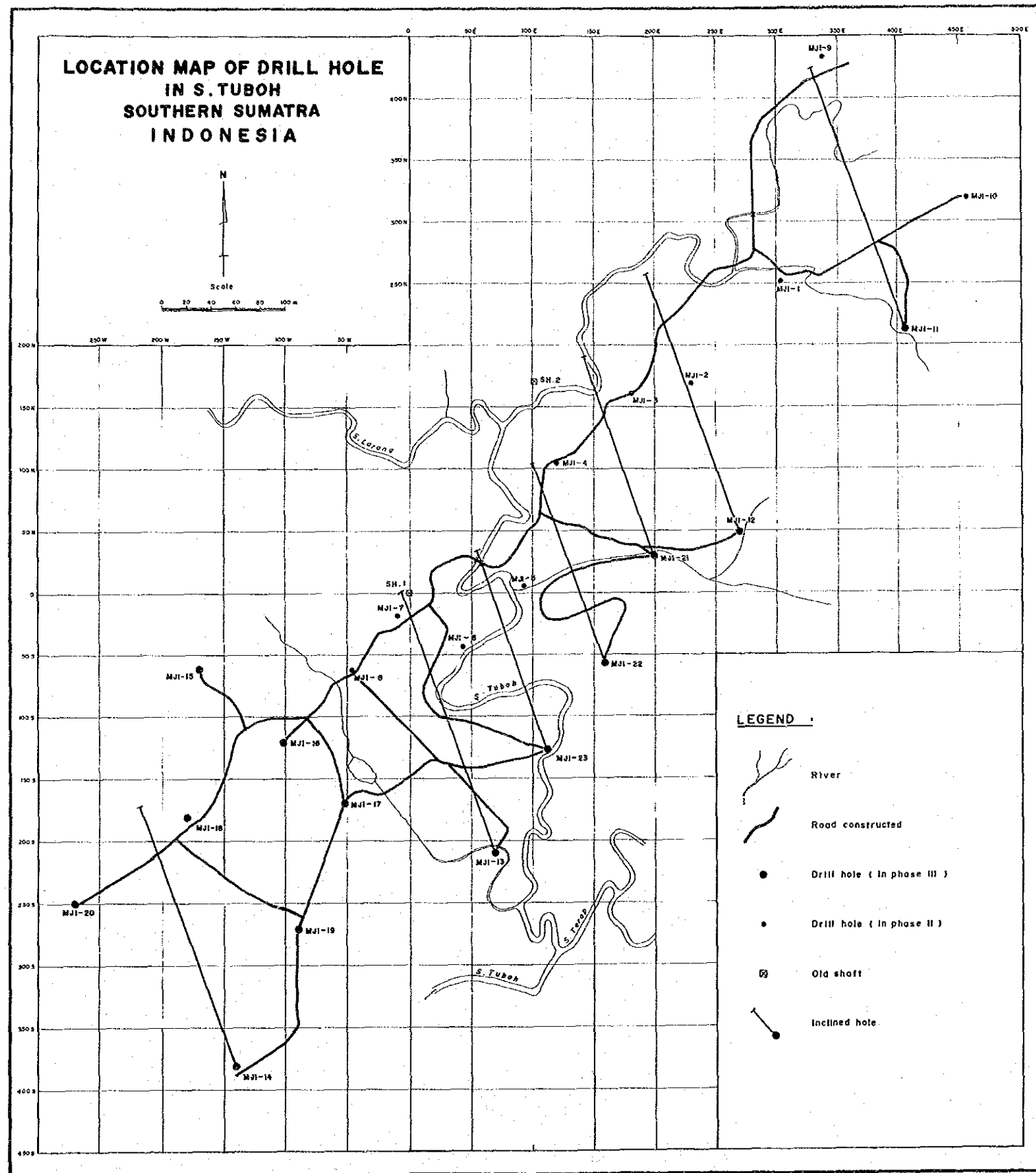
地質的には、大部分がマーブルで岩質が良いためもあり、孔壁の崩壊等による孔内事故の発生はなく、ほぼ順調な作業状況を確認することが出来た。但し、マーブル中にしばしば出現した空洞(ドリーネ)は、逸・湧水を発生し、孔曲がりの原因となり、ドリリング・ツールズ(ビット、ドリル・ロッド、ケーシング)の損耗をもたらした。

使用機材は、パレンバンに陸揚げし、南スマトラ地域の入り口のスランゲン村までの540 Kmはトラック輸送とし、ドリリング・サイト(トウボ川地区)への搬入には、道路がないこととゴム林のために道路開設が無理なことから、ヘリコプターを使用した。また、ボ

ーリング地点間の移動には、一帯が湿地帯であることを考慮し、キャタピラー付きのクレーン・キャリアーを用いた。

第13表 ボーリング調査作業成績総括表

孔数	23 孔	作業時間(掘進)	2,603°10'
総延長	4,680.90 m	(その他)	778°40'
コアー長	3,963.50 m	(回復作業)	162°10'
コアー採取率	84.6 %	[小計]	3,544°00'
(徐表土部分)	92.1 %	(現場間移動)	762°00'
掘進総方数	431 方	(道路造成, その他)	590°00'
作業総方数	612 方		
総工数(技師)	1,480 工		
(労務者)	4,485 工	【合計】	4,896°00'
ビット成績			
	サイズ	使用個数	掘進長
	NQ	37	1,302.80 m
	BQ	59	2,791.10 m
			ライフ
			35.2 m/個
			47.3 m/個



第20図 ポーリング実施位置図

第V部 結論および将来への提言

第V部 結論および将来への提言

第1章 結論

過去3年間の調査により、南スマトラ地域には、トウボ川地区および周辺地域のスカルン型鉱化作用、ラヤ山地区のポーフィリー・銅型鉱化作用、スカルン型鉱化作用および黄鉄鉱鉱染鉱化作用、クイス川下流の黄鉄鉱鉱染鉱化作用などが存在することが明らかになった。また、中生界分布地域の変成分化型金鉱化作用および新第三系分布地域の浅熱水金鉱化作用の存在が推定される。

これらの中では、トウボ川地区スカルン型鉱化作用が9帯の鉱化帯を形成し、まとまった分布をすることが明らかになった。

このほか、中生界分布地域の変成分化型金鉱化作用および新第三系分布地域の浅熱水金鉱化作用の存在が高い確度で推定される。

これらの鉱化作用の概要は次の通りである。

- ∴トウボ川地区スカルン型鉱化作用：Ag-Zn-Pbスカルン型鉱化帯を形成する。まとまりのある鉱化帯からなり、本地域で最も重要な鉱化作用である。
- ∴ラヤ山地区ポーフィリー・銅型鉱化作用：Mo-(Pb-Zn-Co-Au-Ag)を伴う網状石英脈を形成しているが小規模かつ低品位である。
- ∴ラヤ山地区スカルン型鉱化作用：Fe-oxide(磁鉄鉱または赤鉄鉱)の塊状鉱床を形成しているが小規模である。
- ∴ラヤ山地区黄鉄鉱鉱染鉱化作用：黄鉄鉱鉱染珪化帯を形成しているが低品位かつ小規模である。
- ∴クイス川下流黄鉄鉱鉱染鉱化作用：黄鉄鉱鉱染珪化帯を形成しているが低品位である。
- ∴新第三系分布地域の浅熱水金鉱化作用：インドネシアの各所に発達する鮮新～更新世の金-石英脈鉱床と類似の鉱化作用。新第三系(フルシパン層)分布地域の地化学探査異常などによって存在が推定される。
- ∴中生界分布地域の変成分化型金鉱化作用：ラウス川層の泥質岩の変成作用に伴って

生じたと推定される金の濃集。ラウス川で採取されている砂金のソースと考えられる。

トウボ川地区で発見した9鉱化帯のうち、よりまとまりのよい7鉱化帯の埋蔵鉱量試算結果は、次に示す通りである。

トウボ川地区鉱化帯の埋蔵鉱量試算結果

埋蔵鉱量	品 位					含 有 量				
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Cu	Pb	Zn
($\times 10^3$ t)	(g/t)	(g/t)	(%)	(%)	(%)	(kg)	(kg)	(t)	(t)	(t)
1,726	0.1	130	0.8	1.5	10	192	229,760	14,000	25,600	176,000

この埋蔵鉱量の試算結果は、探査の初期段階での計算であるところから、計算要素に不確かな部分が含まれているものの、今後更に鉱量を増加することにより、経済的環境が整えば開発の可能性があることを意味している。一方、トウボ川地区の既知鉱化帯周辺およびクリン川、スパン川の両鉱徴からニラオ川中流にかけてトウボ川地区の周辺地域には未だ探査余地が多く残っている。従って、これらの地域に対する探査を進め鉱量の増加を図る必要がある。

浅熱水金鉱化作用は、金の経済的濃集(鉱床)を形成する可能性のある鉱化作用として重要である。新第三系(フルシパン層)分布地域で把握した地化学異常域およびその周辺地域の探査により、金鉱化帯の存在を特定できる可能性がある。

このほかの資源としては、北部のブキット・ブラン周辺の石灰岩(存在量数十億トン)およびトウボ川地区のマーブル(地表下50 mまでで数十万トン)がある。

北部のブキット・ブラン付近の石灰岩の化学分析結果を次ぎに示す。品位的に、この石灰岩は、セメント原料のみならず、カーバイド原料、石灰・ソーダ灰原料、ガラス原料、製鉄原料、銅精錬原料のいずれの用途にも耐え得るものである。

ブキット・ブラン付近の石灰岩の分析品位

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
0.60	0.28	0.13	0.03	0.32	54.21	0.03	0.01	0.03	0.04	42.75
1.64	0.79	0.19	0.06	0.45	53.00	0.04	0.11	0.04	0.05	42.12

トウボ川地区のマーブルおよび鉱化帯周辺の岩石の大理石としての開発は、採掘技術の習得、鉱化帯の産状の解明および大理石の販売収入等によって、トウボ川地区の鉱化帯の開発を促進する可能性がある。

第2章 将来への提言

a) トウボ川地区

トウボ川地区自体については、鉱量・品位の精度を上げることおよび既知鉱化帯周辺の未探査部分の探査による鉱量の増加を図る必要がある。

鉱量・品位の精度の向上のためには鉱化帯の産状を考慮すれば、坑道とショート・ボーリングによる坑内探査が望ましい。

既知鉱化帯周辺の未探査部分としては、次の各所が挙げられる。

- 1) MJI-13～MJI-14の間
- 2) D₆の下盤域
- 3) D₅(MJI-9着鉱部)の南西および北東域
- 4) MJI-12～MJI-11の間
- 5) MJI-18の周辺
- 6) D₂、D₃の下盤域
- 7) 300 m以深の部分

これらの部分については地表からのボーリング調査が望まれる。

トウボ川地区では、以上の他に、比較的近傍のクリン川、スパン川の両鉱徴からニラオ川中流のマーブル分布地域を含む周辺地域の探査を行って鉱量の増加をはかり、次いで、これらの結果に基づいてF/S調査を実施する等、トウボ川地区を中心とする周辺地域の資源ポテンシャルを総合的に評価することが望まれる。

F/S調査に当たっては、開発にかかる技術的面に加え、開発規模・生産量、販売収入および山命の見積、投下資本、ランニング・コスト、資本コスト、資本調達、税法および税法上の特典、労働力、輸送、港灣、販売、エネルギー・サプライ、給・排水、環境問題等多分野に亙る検討項目があるので、必要に応じてこれらに対応できるような専門家からなるプロジェクト・チームを結成し、検討を行うことが望まれる。また、鉱山の開発が地元にも与えるインパクトについても十分な検討が必要である。

尚、クリン川、スパン川の両鉱徴は、土石流の可能性を究明し、土石流であることが判明した場合には、その根源地の追跡が必要である。

これら周辺地域の探査手法としては、地質精査に加え、土壌地化学精査、電気探査および100 m深程度のボーリング調査の併用が望ましい。

b) 新第三系(フルシパン層)分布地域

浅熱水金鉱化作用を対象とする探査で、新第三系(フルシパン層)分布地域で把握した地化学異常域を含む周辺地域の精査が望まれる。

精査の手法としては、当面、鉱化作用の及んでいる範囲を確定するために地質精査、岩石および土壌による地化学精査、変質帯調査等の実施が望まれる。

c) その他

北部のブキット・ブラン付近の石灰岩については、存在量の確定が望まれる。また、トウボ川地区のマーブルおよび鉱化帯周辺の岩石については、大理石としての品質面の検討が望まれる。

参 考 文 献

1. Atkinson, W. W., Kaczmarowski, J. H., and Erickson Jr. A. J. (1982): Geology of a Skarn-Breccia Orebody at the Victoria Mine, Elko County Nevada, Economic Geol. Vol. 77, pp. 899-918.
2. Bemmelen, R. W. van (1970) : The Geology of Indonesia, Vol. 1A, General Geology and Adjacent Archipelagoes.
3. Bemmelen, R. W. van (1970): The Geology of Indonesia, Vol. II, Lead and Zinc Occurrences in Sumatra, Economic Geol.
4. Chambers, L. A. et Trudinger, P. A. (1978): Microbiological fractionation of Stable sulfur isotopes, A review and critique, Geomicrobiology Journal, Vol. I, no. 3.
5. Claypool, G. E. et al (1980): The age curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfur and their mutual interpretation, Chem. Geol. Vol. 28, pp. 199-260.
6. Dieckman (1917): Hoofdbureau Mijinwezen de Contactzone van de Bt. Rajah (Soengi Toeboh).
7. Hamilton, Warren (1978) : Tectonics of the Indonesian Region, U.S. Geological Survey Professional Paper.
8. Hamilton Warren (1980) : Tectonic Map of the Indonesian Region, U.S. Geol. Survey Map 1-875-D.
9. Kajiwara, Y. et Sasaki, A. (1987) : Sulfur isotope similarity between crude oil and kuroko sulfides from the Green-tuff region of Northeastern Japan, Mining Geol. Vol. 37(3), pp. 199-203
10. Katili, J. A. and Hehuwat, F. (1971): On the Occurrences of Large Transcurrent Fault in Sumatra, Indonesia, Journal of Geosciences, Osaka Univ., Vol. 10, Art. 1-1.
11. Katili, J. A. (1987): Epithermal Gold, The Flavour of the Coming Decade ?, Pertambangan dan Energi No. 4-1987
12. 小嶋 稔, 斎藤常正(編) : 地球年代学, 地球科学, 6, 113-155, 岩波講座.
13. 鞠子 正 (1981): 福井県中竜鉾山中山・人形鉾床における銀の分布と含銀鉾物, 鉾山地質特別号, 10, 159-174
14. 都城秋穂, 久城育夫 : 岩石の分類と性質, 岩石学 II, 10-92, 共立全書
15. Peterman, Z. E., Hedge, C. E. & Toutelot, H. A. (1970): Isotopic composition of strontium in seawater throughout Phanerozoic time, Geoch. Cosmoch. Acta, 34, 105-120
16. P. T. Kennecot Indonesia (1971): Reconnaissance Concession Block 10 and 11, Sumatra, Indonesia, Final Report 1970-1971
17. Rosidi, H. M. D., Kaswanda, O., Kertapati, E., Hasan, B. S. and Mulyadi, D. (1977): Peta Geologi Lembar Sarolangun, Sumatera (unpublished)
18. 島崎英彦(1977): スカルン鉾床, 立見辰雄(編) 現代鉾床学の基礎, 東京大学出版会 175-187
19. Suwarna and Suharsona (1984): Peta Geologi Lembar Sarolangun, Geological Research and Development Centre (unpublished)
20. Tampubolon, J. R. (1983) : Prospekti Logam Mulia dan Logam Dasar di Daerah Rawas Ulu, Sumatera Selatan, Direktorat Sumberdaya Mineral Sub Dit Eksplorasi Mineari Logam

