

選別過程の解析的研究(第2報)

選択度関数について

和田正美* 山本泰二*

Analytical Investigations into Separation Processes. (II) Selectivity Function.
By Masayoshi WADA and Taiji YAMAMOTO.

The selectivity ϕ between any two components in any separation process has been defined by the ratio of the respective concentrability function as follows :

$$\phi = \frac{1 - R_1}{1 - R_2} = (1 - c)^{-(K_1 - K_2)}$$

where c is the amount of concentrate, R_1 and R_2 are the recoveries of components 1 and 2 in the concentrate, K_1 and K_2 the respective concentrability coefficients, the difference of which is named the selectivity coefficient S .

For graphical computation of the selectivity function, intersection and alignment charts for ϕ , c , and S were prepared. The concentrability coefficients and the selectivity coefficients for copper and zinc components in the copper-lead semi-bulk concentrates obtained in the batch and continuous flotation testing of complex sulphide ores from the Yokota Mine, Fukushima Prefecture, were calculated and statistically analysed.

(Received June 18, 1963)

1. 諸 言

著者らは前報¹⁾において、可選性に関する理論的な研究はほとんどなく、二、三の研究者がこの問題の速度論的な取扱いを試みているに過ぎないことを述べたが、その後もこの方面の多数の研究^{2)~9)}が発表されているにも拘らず理論的なものはほとんどなく、特に2成分の選択度の合理的な表示法は見当らない。

本報では先に導入した可選性関数に基づき、2成分相互の選択度を数学的に表示する選択度関数を導入し、その変数間の関係を明らかにするとともに数値計算用のノモグラムを作成し、また選択度関数によつて定義される選択度係数を用いて複雑硫化鉱を試料とする回分および連続式浮選試験結果の解析を行った。

2. 選択度関数

前報¹⁾において可選性関数の基本式として(1)式を与えた

$$\frac{dx}{dc} = K \frac{a - x}{1 - c} \dots\dots\dots(1)$$

ここに a は給鉱中の任意成分の含量、 c は精鉱量、 x は精鉱中に取出された当該成分の量、 K は

選鉱製錬研究所報告 第401号 昭和38年度日本鉱業会春季大会学術講演会にて発表(1963. 4. 21.)

* 東北大学選鉱製錬研究所

- 1) 和田正美, 山本泰二: 選研彙, **18** (1962), 185.
- 2) Dell, C. C.: Quarterly Colorado School Mines, **56** (1961), No. 3, 129.
- 3) Chi, J. W. H.: Quarterly Colorado School Mines, **56** (1961), No. 3, 537.
- 4) Banerjee, A., A. R. Roy, G. G. Sarkar and A. Lahiri: J. Inst. Fuel, **35** (1962), 298; C. A. **57** (1963), 14084.
- 5) Douglas, E.: Bull. Inst. Mining Met. No. 670 (1962), 697; No. 674 (1963), 281.
- 6) Bushell, C. H. G.: Trans. Soc. Mining Engrs. **223** (1962), 266.
- 7) Arbiter, N. and C. C. Harris: Froth Flotation—50th Anniversary Volume. (1962), 215.
- 8) 井上外志雄: 浮遊選鉱法の速度論的研究. (1963).
- 9) Pogorelyi, A. D.: Izv. Vysshikh Uchebn. Zavedenii, Tsvetn. Met. **5** (1962), No. 1, 33; C. A. **57** (1962), 8255.

可選性係数と名付けられる比例定数である。

(1) 式を c については変域 $(0, c)$, x については変域 $(0, x)$ で積分すれば

$$\frac{a-x}{a} = (1-c)^K \dots\dots\dots(2)$$

を得る。

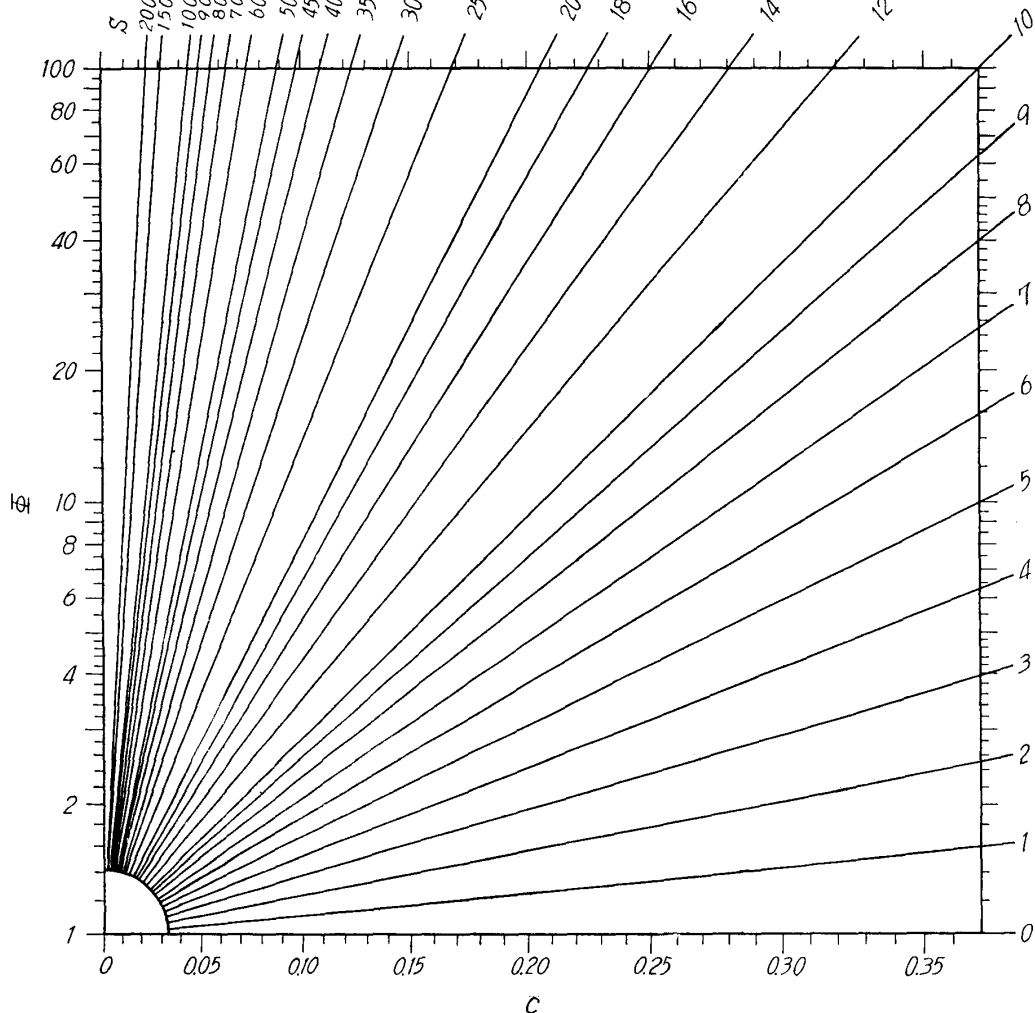
今任意の2成分を考え、これらがそれぞれ(2)式に従うものと仮定すれば

$$\frac{a_1-x_1}{a_1} = (1-c)^{K_1} \dots\dots\dots(3)$$

および

$$\frac{a_2-x_2}{a_2} = (1-c)^{K_2} \dots\dots\dots(4)$$

なる関係が成立する。ここに a, x および K の添字1および2はそれぞれの成分を表わす。



第1図 選択度関数の (c, S, ϕ) の共点図表

(3)式および(4)式の左辺はそれぞれ第1成分および第2成分の廃棄率を示し、右辺の $K_1 \geq 0, K_2 \geq 0$, かつ $1 \geq 1-c \geq 0$ で、 K_1, K_2 の値が大きいほど左辺の値は小さく、選鉱度は大きい。

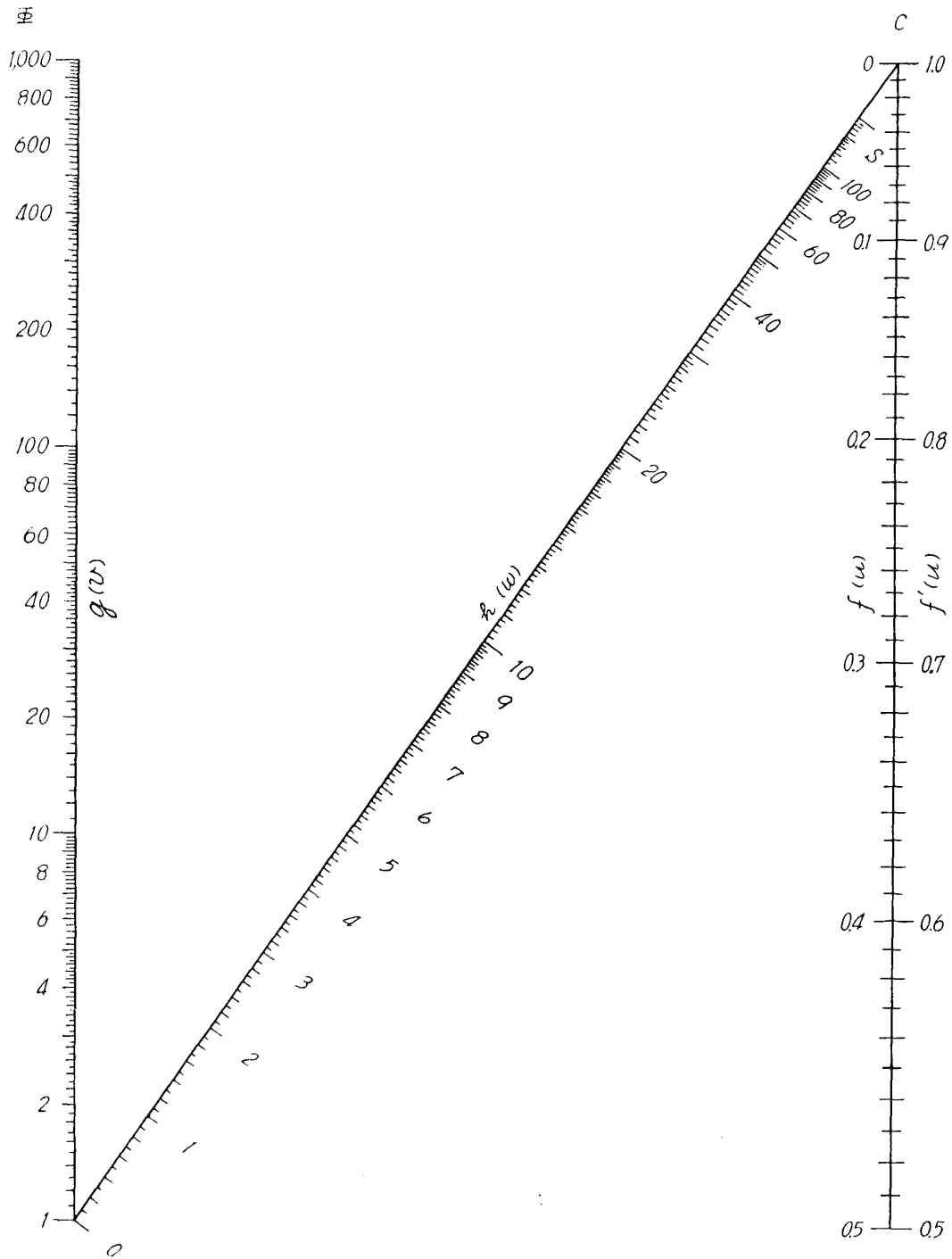
従つて(3)式および(4)式の左辺の逆数は各成分の選鉱度を表わすものと考え、その比をこれらの成分の選択度と定義すれば

$$\phi = \frac{a_2-x_2}{a_1-x_1} \frac{a_1}{a_2} = (1-c)^{K_2-K_1} \dots\dots\dots(5)$$

ここに ϕ は選択度を示し, $K_1 - K_2 \geq 0$ でこの値が大きいほど選択度が大きいから

$$S = K_1 - K_2 \dots\dots\dots(6)$$

と置き, S を選択度係数と名付ける.



第2図 選択度関数の (c, S, ϕ) の共線図表

$$\begin{aligned} f(u) &= -\log c, & f'(u) &= -\log(1-c) \\ g(v) &= \log \phi, & h(w) &= S \end{aligned}$$

(3) 式および (4) 式で

$$\frac{a_1 - x_1}{a_1} = J_1 = 1 - R_1 \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{a_2 - x_2}{a_2} = J_2 = 1 - R_2 \dots\dots\dots (8)$$

と置けば, J_1 および J_2 は各成分の廃棄率, R_1 および R_2 は実収率を表わす.

(5) 式に (7) 式および (8) 式を代入すれば

$$\Phi = \frac{1 - R_2}{1 - R_1} = \frac{J_2}{J_1} = (1 - c)^{-s} \dots\dots\dots (9)$$

あるいは

$$S = -\frac{\log \Phi}{\log(1-c)} = -\frac{\log(1-R_2) - \log(1-R_1)}{\log(1-c)} = -\frac{\log J_2 - \log J_1}{\log(1-c)} \dots\dots\dots (10)$$

を得る.

ここに定義した選択度係数 S は 2 成分の選択度の対数に比例するものであるが, その絶対値はこれらの成分の可選性係数の差に等しいもので, 可選性係数は (1) の基本式によつて特性づけられた値であり, 成分の種類, 分離方法の如何にかかわらず普遍的な意味を持つものであるから, 選択度係数も同様に普遍性を持ち, 他成分系の選択度係数との比較が可能である.

第 1 図は選択度関数の 2 変数, すなわち精鉱量 c と選択度 Φ との関係を種々の選択度係数 S の値に対して図示した共点図表である.

第 2 図はこれらの関係を示す共線図表である. ここに

$$\begin{aligned} u &= c, & f'(u) &= -\log(1-c) \\ v &= \Phi, & g(v) &= \log \Phi \\ w &= S, & h(w) &= S \end{aligned}$$

とおき, u, v および w の範囲を

$$0 \leq c \leq 0.5, \quad 1 \leq \Phi \leq 1,000, \quad 0 \leq S \leq 200$$

とし, 関数尺として

$$\xi' = -\log(1-c),$$

$$\eta = \frac{1}{10} \log \Phi,$$

$$\zeta = 0.183 \frac{10 - S}{10 + S}$$

ととつてある.

3. 実験方法

a) 試料

試料は福島県横田鉱山産の複雑硫化鉱で, 黄銅鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱, 白鉄鉱, 重晶石などからなり, 凝灰岩, 流紋岩などを母岩とする黒鉱質鉱石である. 鉱石の単体分離度は概して低く, 200 mesh 粉碎における総合単体分離度は 70~80% 程度であり, 硫化鉱物の中では黄銅鉱の単体分離度が最も低く, 黄鉄鉱との片刃は 20~30%, 閃亜鉛鉱との片刃は 5~10% 程度である. 一般に鉛, 亜鉛の含量の多い黒鉱質鉱石は単体分離度が低い傾向が見られる.

第 1 表は供試鉱石の種類および平均品位を示す. 試料 A は鉱体のボーリング作業で採取されたコアから得られた混合鉱, 試料 B, C および D は探鉱坑道から採取された鉱石で, 試料 B は晶洞質, 試料 C は硬質緻密質で, いずれも所謂黒鉱質鉱石であり, 試料 D は鉛, 亜鉛の含量の比較的少ない所謂黄銅質鉱石である.

b) 摩鋳および浮選条件

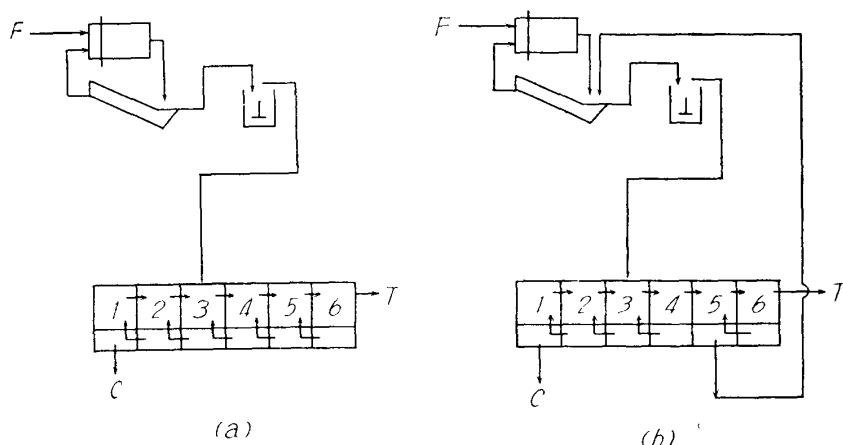
試料はジョークラッシャー, ロールクラッシャー, ディスクパルプフェライザー, ボールミルなどで<100 mesh 20~60%程度に乾式粉碎し, 磁製ミル(200mm×250mm, 30~50mm磁製ボール3kg装入)でパルプ濃度65%固体として20~40min摩鋳し, 粒度<200 mesh 70~94%としたものを回分浮選試料とし, コニカルボールミル(356mmφ)一スパイラル分級機(112mm×1,118mm)回路に20~30 kg/hの割合で給鋳し, 粒度<200 mesh 70~95%としたものを連続式浮選給鋳とした。

第1表 供試鋳石の種類および平均品位

試料	品位 (%)			
	Cu	Pb	Zn	Fe
A	1.06	3.04	12.08	14.58
B	0.82	1.68	8.97	22.46
C	0.39	2.02	10.96	17.36
D	0.74	0.82	2.44	7.67

浮選試験機としては回分式浮選には1kg用Fahrenwald Sub-A型浮選機を, 連続式浮選には6区式Fahrenwald Sub-A型浮選機(200mm×200mm×200mm)を用いた。

第3図は連続式浮選の系統図を示す。系統(a)および(b)ともにコンディショナー(300mmφ×400mm)を経て第3区に給鋳し, 第1区から精鋳を採取するものであるが, (b)では第5区から出る中鋳を再摩鋳するものである。



第3図 連続式摩鋳, 分級および銅・鉛セミバルク浮選系統図

浮選給鋳のパルプ濃度は25%固体とし, 浮選試薬としてはMIBC(15~25g/t), Aerofloat #25(0~10g/t), アミルキサントゲン酸カリウム(10~149g/t), 水酸化カルシウム(500~3,000g/t), 無水炭酸ナトリウム(0~3,000g/t), シアン化ナトリウム(0~400g/t), 硫酸亜鉛(0~900g/t)などを用い, 連続式浮選では水酸化カルシウムと無水炭酸ナトリウムはボールミルに, シアン化ナトリウムはボールミルへの分級機の繰返部に, 硫酸亜鉛はボールミルの排鋳部および浮選機の第1区に, アミルキサントゲン酸カリウムはコンディショナーと浮選機の第5区に, MIBCはコンディショナーに適当に添加した。またパルプのpH測定はコンディショナーで行った。

4. 実験結果および考察

第2表および第3表は回分式および連続式銅・鉛セミバルク浮選条件および成績, 第4表および第5表はそれぞれこれらの成績から算出した銅・亜鉛の可選性係数および選別度係数, およびこれらの平均 \bar{x} , 標準偏差 s , 棄却限界 δ^{10} , 相対的散布度 C などの統計量を示す。相対的散布度はPearson¹¹⁾に従って $C = \delta/\bar{x}$ によつて求めた。第2~5表の実験番号は各試料につき選別度係数の大きい順に配列した。第4表の回分式浮選における銅-亜鉛の選別度係数の相対的散布度は試料BおよびCが最小であり, 試料Aがこれに次ぎ, 試料Dが最も大きい。このことは第6表に示す浮選条件の実験範囲内での変動の影響が試料BおよびCに対してはそれ程大きくないが, 試

10) 増山元三郎: 少数例の纏め方と実験計画の立て方. (1949), 21.

11) 石川栄助: 実用近代統計学. (1957), 35.

第2表 回分式銅・鉛セミバルク浮選条件および成績

試料	実験番号	原鉱品位 a (%)				精鉱品位 r (%)				実収率 R (%)			
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe
A	1	1.02	3.20	11.34	14.80	4.97	22.48	18.19	14.08	50.19	72.37	16.52	9.80
	2	1.01	3.50	11.54	14.68	4.64	20.81	20.19	14.70	56.04	72.55	21.35	12.24
	3	1.02	3.27	11.71	14.57	4.80	23.13	18.99	14.27	49.73	74.76	17.14	10.35
	4	1.05	3.16	11.77	14.66	4.43	17.55	19.93	14.79	55.67	73.24	22.34	13.31
	5	1.05	3.22	11.15	14.80	4.08	25.59	19.49	12.84	36.74	75.19	16.54	8.21
	6	1.02	3.25	11.15	14.05	3.67	23.23	19.48	7.66	38.53	76.47	18.69	6.83
	7	1.03	3.70	11.39	14.84	3.78	16.96	26.35	12.44	56.15	70.15	35.39	12.83
	8	1.06	3.08	11.41	14.80	3.58	22.07	24.95	10.37	31.68	67.20	20.51	6.57
	9	1.06	3.23	11.40	14.79	3.50	19.49	29.31	9.73	39.51	72.30	30.80	7.88
	10	1.05	3.38	11.42	14.73	2.63	19.76	25.98	11.11	32.88	76.82	29.89	9.91
	11	1.05	3.37	11.26	14.75	2.06	14.92	32.82	9.00	35.82	80.77	53.16	11.13
B	1	0.80	-	11.28	23.16	5.92	-	24.28	17.81	36.78	-	10.76	3.84
	2	0.82	-	11.44	21.47	4.59	-	22.70	21.09	56.25	-	20.03	9.92
	3	0.82	1.26	11.26	26.40	4.84	5.71	23.21	19.92	45.12	34.48	15.67	5.74
	4	0.92	1.33	14.04	23.90	5.41	6.48	26.83	17.34	41.08	34.07	13.38	5.08
	5	0.84	-	11.38	23.82	5.10	-	25.50	17.81	37.86	-	13.89	4.64
	6	0.93	-	11.44	20.21	6.12	-	24.79	16.41	21.69	-	7.16	2.68
	7	0.84	-	11.46	24.87	4.80	-	28.87	17.93	48.73	-	21.41	6.13
	8	0.93	-	10.83	20.95	4.54	-	29.27	17.58	40.24	-	22.15	6.88
	9	1.00	-	10.07	19.72	3.98	-	29.78	15.70	32.92	-	24.55	6.61
C	1	0.41	2.11	13.85	19.72	2.35	17.00	21.11	16.40	14.09	19.70	3.73	2.04
	2	0.40	1.66	14.16	20.05	2.10	15.10	21.22	16.51	13.76	23.60	3.88	2.13
	3	0.34	2.01	15.14	19.81	1.63	19.30	22.24	15.23	10.05	20.00	3.06	1.62
	4	0.33	2.07	13.85	20.16	1.38	15.90	18.97	14.05	6.75	12.26	2.19	1.12
	5	0.40	2.13	14.25	19.71	1.63	15.10	21.62	17.45	14.85	25.70	5.49	3.20
	6	0.38	2.14	15.24	19.72	1.38	23.90	21.11	16.63	8.54	26.49	3.28	2.00
	7	0.35	2.11	15.41	19.78	1.22	15.40	21.73	19.44	16.04	33.87	6.53	4.55
	8	0.35	2.19	14.73	19.82	1.33	15.80	27.23	15.11	15.80	30.16	7.75	3.19
	9	0.37	1.64	14.06	19.82	1.22	23.90	19.89	13.94	5.18	22.86	2.22	1.10
	10	0.40	2.49	14.41	19.99	1.22	23.40	19.79	18.97	12.60	38.35	5.60	3.87
	11	0.43	1.98	15.03	19.72	1.33	20.20	21.22	16.16	6.74	22.28	3.08	1.79
	12	0.43	2.07	14.94	19.45	1.33	20.30	22.54	13.82	5.94	18.76	2.88	1.36
D	1	0.74	0.45	2.29	8.67	6.45	3.28	8.56	22.90	68.60	57.30	29.50	20.90
	2	0.67	0.58	2.38	7.61	6.77	5.43	10.31	22.30	64.90	61.00	27.95	18.90
	3	0.68	0.66	2.42	7.68	5.34	5.73	12.61	20.10	50.70	56.00	33.33	16.40
	4	0.74	0.43	2.49	8.48	5.78	2.60	18.76	20.40	75.65	59.08	73.05	23.36
	5	0.60	0.37	2.20	8.45	4.20	2.18	17.00	20.10	57.24	47.66	62.64	19.31
	6	0.77	0.46	2.52	8.66	5.51	2.40	18.98	21.70	80.11	58.11	84.55	28.12
	7	0.69	0.66	2.45	7.95	4.99	4.00	19.29	18.10	71.90	60.50	78.30	22.60
	8	0.72	0.64	2.67	8.16	5.27	3.69	23.42	16.50	69.85	54.43	83.03	19.17
	9	0.73	0.51	2.67	7.47	5.00	3.57	24.00	18.70	66.35	66.90	87.28	24.27

給鉱粒度* <200mesh (%)	パルプ濃度* (%)	パルプpH*	条件付 与時間 (min)	浮選 時間 (min)	試薬添加量 (g/t)						
					Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	NaCN	ZnSO ₄	KAX [†]	AF#25**	MIBC ^{††}
94	25	7.7	15	8	1,000	2,000	25	75	20	10	15
94	25	7.8	15	8	2,000	2,000	25	75	20	10	15
94	25	7.7	15	8	1,000	2,000	50	150	20	10	15
94	25	7.9	15	8	2,000	2,000	50	150	20	10	15
94	25	6.9	15	8	1,000	2,000	100	300	20	10	15
94	25	7.8	15	8	2,000	2,000	100	300	20	10	15
94	25	6.8	15	8	1,000	-	25	75	20	10	15
94	25	6.8	15	8	1,000	-	50	150	20	10	15
94	25	6.8	15	8	1,000	-	150	450	20	10	15
94	25	7.0	15	8	2,000	2,000	150	450	20	10	15
94	25	6.8	15	8	1,000	-	100	300	20	10	15
92	25	7.0	5	2	1,500	2,000	200	600	50	-	15
92	25	9.8	5	2	2,000	2,000	125	375	50	-	15
92	25	8.2	5	2	3,000	3,000	125	375	50	-	15
92	25	7.1	5	2	1,500	2,000	125	375	50	-	15
81	25	7.1	5	2	1,500	2,000	125	375	50	-	15

81	25	7.0	5	2	1,500	2,000	200	600	50	-	15
92	25	7.1	5	2	1,500	2,000	50	150	50	-	15
81	25	7.1	5	2	1,500	2,000	50	150	50	-	15
70	25	7.1	5	2	1,500	2,000	125	375	50	-	15
97	25	7.8	5	2	1,500	1,000	-	-	20	-	15
89	25	7.8	5	2	1,500	1,000	-	-	20	-	15
89	25	7.8	5	2	1,500	1,000	50	150	20	-	15
89	25	7.4	5	2	1,500	1,000	150	450	20	-	15
97	25	7.8	5	2	1,500	1,000	50	150	20	-	15
97	25	7.5	5	2	1,500	1,000	100	300	20	-	15
97	25	7.6	5	2	1,500	1,000	150	450	20	-	15
78	25	8.0	5	2	1,500	1,000	50	150	20	-	15
78	25	8.0	5	2	1,500	1,000	100	300	20	-	15
97	25	7.6	5	2	1,500	1,000	150	450	20	-	15
89	25	7.8	5	2	1,500	1,000	100	300	20	-	15
78	25	7.6	5	2	1,500	1,000	150	450	20	-	15
93	25	8.5	5	1	1,000	1,000	150	450	10	-	15
98	25	8.5	5	1	1,000	1,000	150	450	10	-	15
82	25	8.5	5	1	1,000	1,000	150	450	10	-	15
93	25	8.6	5	1	1,000	1,000	100	300	10	-	15
98	25	8.8	5	1	1,000	1,000	50	150	10	-	15
93	25	8.8	5	1	1,000	1,000	50	150	10	-	15
98	25	8.6	5	1	1,000	1,000	100	300	10	-	15
82	25	8.6	5	1	1,000	1,000	100	300	10	-	15
82	25	8.8	5	1	1,000	1,000	50	150	10	-	15

* 浮選前
 ** AF #25 Aerofloat No.25
 † KAX アミルキサントゲン酸カリウム
 ‡ MIBC メチルイソブチルカルビノール

第3表 連続式銅・鉛セミバルク浮選条件および成績

試料	実験番号	原 鉱 品 位 a (%)				精 鉱 品 位 γ (%)				実 収 率 R (%)			
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe
B	1	0.82	1.97	11.40	24.87	13.60	15.15	14.90	17.45	67.21	31.21	5.30	2.84
	2	0.82	1.34	13.37	22.96	15.12	23.90	7.22	20.40	51.43	49.85	1.51	2.48
	3	0.82	1.48	13.56	23.41	13.80	25.17	7.70	20.40	45.09	45.55	1.52	2.34
	4	0.82	1.71	13.32	23.13	14.58	17.95	8.36	20.64	37.87	22.36	1.34	1.90
	5	0.82	1.51	13.51	21.76	10.91	18.15	10.19	18.93	44.10	35.89	2.34	2.46
	6	0.82	1.79	13.56	22.56	11.39	20.24	10.48	19.87	42.14	34.28	2.34	2.67
	7	0.82	1.68	11.66	21.57	10.05	10.60	12.22	23.98	58.20	29.89	4.98	5.25
	8	0.82	1.62	11.80	22.64	11.80	12.80	11.80	24.20	35.82	19.64	2.49	2.66
	9	0.82	2.02	8.97	22.45	10.10	10.90	12.30	23.70	56.94	33.00	6.33	4.88
	10	0.82	1.76	10.33	26.39	11.28	9.40	14.24	22.38	40.73	15.81	4.08	2.51
	11	0.82	1.56	10.86	25.37	8.70	9.55	13.30	26.40	63.31	35.86	7.31	6.21
	12	0.82	2.03	10.69	26.48	9.49	10.70	14.70	22.03	52.23	23.77	6.20	3.25
	13	0.82	1.70	8.08	22.20	8.62	9.58	16.80	20.20	52.48	28.06	10.38	4.54
C	1	0.39	2.25	14.24	15.79	3.55	23.80	20.40	12.31	05.73	6.64	0.90	0.49
	2	0.39	2.35	13.50	17.07	3.08	12.40	21.54	12.82	18.14	12.39	3.78	1.76
	3	0.39	1.91	12.03	17.00	3.27	8.46	34.87	08.07	14.33	7.56	4.46	0.81
	4	0.39	2.02	10.96	17.30	3.18	66.79	35.54	10.74	22.74	9.39	8.80	0.78
	5	0.39	2.17	11.80	16.18	2.83	13.32	24.64	14.87	11.69	9.87	3.36	1.43
D	1	0.74	0.86	2.10	7.44	14.10	17.53	5.95	18.81	71.30	7.53	10.50	9.40
	2	0.74	0.45	2.30	7.00	13.50	7.36	16.00	20.70	74.82	67.78	29.26	12.04
	3	0.74	0.71	2.60	6.73	8.37	7.09	7.90	24.10	86.20	76.20	23.20	37.40
	4	0.74	0.65	2.63	10.42	13.65	12.21	8.37	23.16	47.50	53.23	7.10	5.70
	5	0.74	0.75	2.47	7.06	11.45	12.44	8.96	23.10	68.90	74.50	16.30	14.70
	6	0.74	0.70	2.01	9.33	11.91	11.91	10.92	24.95	67.46	74.41	22.84	11.26
	7	0.74	0.82	2.44	7.69	11.56	16.62	5.57	22.10	52.00	67.00	7.60	9.50
	8	0.74	n.d	2.85	10.34	12.76	9.14	12.50	24.83	46.22	-	11.84	6.48
	9	0.74	n.d	2.23	11.00	6.32	4.67	14.48	26.64	87.89	-	46.15	24.61
	10	0.74	0.90	2.00	9.74	8.43	5.60	11.70	22.34	74.20	41.00	38.50	15.50
	11	0.74	0.66	2.41	6.56	7.15	7.41	6.30	24.10	64.20	75.79	17.50	28.40
	12	0.74	0.80	2.06	6.07	6.95	6.95	9.15	24.00	75.70	80.40	36.00	32.00
	13	0.74	0.92	2.28	7.61	7.49	13.40	7.45	27.10	55.30	78.40	17.70	19.20
	14	0.74	0.74	2.06	11.93	7.54	7.54	15.64	27.80	73.70	51.08	54.70	16.80

浮選系統*	給鉱粒度* <200mesh (%)	パルプ濃度* (%)	パルプpH	試薬添加量 (g/t)					
				Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	NaCN	ZnSO ₄	KAX†	MIBC
(a)	77	24	7.8	3,000	3,000	166	420	82	20
(b)	-	-	-	2,000	2,000	100	562	65	n.d.**
(b)	-	-	-	2,000	2,000	150	540	75	n.d.
(b)	-	-	-	2,000	2,000	160	630	75	n.d.
(b)	-	-	-	2,000	2,000	144	488	55	n.d.
(b)	-	-	-	2,000	2,000	170	328	67	n.d.
(a)	-	-	7.4	1,500	2,000	136	504	77	20
(a)	-	-	7.8	3,000	3,000	120	456	52	17
(a)	77	24	7.7	1,500	2,000	140	570	81	25
(a)	-	-	8.0	3,000	3,000	120	426	102	n.d.
(a)	-	-	8.0	3,000	3,000	186	680	149	n.d.
(a)	-	-	7.8	3,000	3,000	200	360	85	n.d.
(a)	87.5	-	7.8	1,500	2,000	160	534	54	n.d.
(a)	95	24	8.2	2,000	2,000	40	534	55	20
(a)	-	-	-	2,000	2,000	68	538	116	n.d.
(a)	-	-	9.4	3,000	3,000	110	292	78	n.d.
(a)	82	-	9.0	2,000	2,000	264	984	148	n.d.
(a)	89	-	8.2	2,000	2,000	106	660	125	n.d.
(a)	74	23	9.8	2,000	2,000	156	684	50	23
(a)	-	30	8.7	2,000	2,000	132	396	50	n.d.
(a)	-	-	-	2,000	2,000	n.d.	n.d.	60	n.d.
(a)	-	-	8.4	1,000	500	170	854	57	n.d.
(a)	94	-	-	2,000	2,000	175	187	42	n.d.
(a)	-	-	8.8	1,000	500	181	522	51	n.d.
(a)	-	18	-	2,000	2,000	260	548	32	n.d.
(a)	-	18	8.2	1,000	500	120	381	30	n.d.
(a)	92	27	8.8	1,000	500	171	474	58	n.d.
(a)	76	38	8.4	1,000	500	114	552	55	n.d.
(a)	84	-	10.0	2,000	2,000	171	771	60	n.d.
(a)	-	-	-	2,000	2,000	400	900	85	n.d.
(a)	73	-	9.2	2,000	2,000	302	432	86	n.d.
(a)	90	21	8.8	1,000	500	36	330	70	n.d.

* 第3図参照

** 添加量不明

第4表 回分式銅・鉛セミバルク浮選における銅および亜鉛の可選性係数と選択度係数およびその統計量

実験 番号	試料 A			試料 B			試料 C			試料 D		
	K		S	K		S	K		S	K		S
	Cu	Zn	Cu-Zn	Cu	Zn	Cu-Zn	Cu	Zn	Cu-Zn	Cu	Zn	Cu-Zn
1	6.41	1.66	4.75	8.94	2.22	6.72	6.12	1.53	4.59	14.08	4.25	9.83
2	6.32	1.85	4.47	7.76	2.10	5.66	5.64	1.57	4.07	15.70	7.16	8.54
3	6.03	1.65	4.38	7.61	2.16	5.45	4.60	1.48	3.12	10.69	6.13	4.56
4	5.75	1.79	3.96	7.29	1.98	5.31	4.33	1.37	2.96	13.83	12.84	0.99
5	4.61	1.82	2.79	7.43	2.33	5.10	4.37	1.53	2.84	10.03	11.63	-1.60
6	4.30	1.83	2.47	7.29	2.22	5.07	3.72	1.39	2.33	13.57	15.75	-2.18
7	4.96	2.63	2.33	7.52	2.71	4.81	3.69	1.42	2.27	12.13	14.59	-2.46
8	3.87	2.33	1.54	6.00	2.95	3.05	4.02	1.88	2.14	12.04	17.81	-5.77
9	3.94	2.89	1.05	4.61	3.25	1.36	3.36	1.42	1.94	10.68	20.21	-9.53
10	2.83	2.52	0.31	-	-	-	3.23	1.38	1.85	-	-	-
11	2.20	3.76	-1.56	-	-	-	3.17	1.42	1.75	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	3.08	1.47	1.61	-	-	-
平均 \bar{x}	4.66	2.25	2.41	7.16	2.43	4.73	4.11	1.49	2.62	12.52	12.26	0.27
標準偏差 s	1.33	0.63	1.88	1.14	0.41	1.50	0.93	0.13	0.90	1.79	0.43	6.04
棄却限界 δ	3.25	1.54	4.59	2.95	1.05	3.86	2.22	0.32	2.15	4.60	13.32	15.57
相対的散布度 C	0.70	0.68	1.90	0.41	0.43	0.82	0.54	0.21	0.82	0.37	1.09	58.88

第5表 連続式銅・鉛セミバルク浮選における銅および亜鉛の可選性係数と選別度係数およびその統計量

実 験 番 号	試 料 B			試 料 C			試 料 D		
	K		S	K		S	K		S
	Cu	Zn	Cu-Zn	Cu	Zn	Cu-Zn	Cu	Zn	Cu-Zn
1	26.97	1.32	25.65	8.91	1.37	7.54	33.11	2.94	30.17
2	25.52	0.54	24.98	8.42	1.62	6.80	32.94	8.27	24.67
3	22.07	0.56	21.51	8.97	2.95	6.02	25.06	3.34	21.72
4	22.11	0.63	21.48	9.12	3.26	5.86	24.75	2.83	21.92
5	18.44	0.82	17.62	7.29	2.01	5.28	25.37	3.86	21.51
6	17.78	0.77	17.01	-	-	-	26.10	6.03	20.07
7	17.92	1.05	16.87	-	-	-	21.87	2.36	19.51
8	17.59	1.00	16.59	-	-	-	22.66	5.44	17.22
9	17.81	1.38	16.43	-	-	-	19.42	5.69	13.73
10	17.41	1.39	16.02	-	-	-	20.25	7.16	13.09
11	16.29	1.23	15.06	-	-	-	14.81	2.77	12.04
12	16.01	1.39	14.62	-	-	-	16.75	5.28	11.47
13	14.54	2.10	12.44	-	-	-	14.50	3.51	10.99
14	-	-	-	-	-	-	17.80	10.37	7.43
平均	19.26	1.09	18.17	8.54	2.24	6.30	22.53	5.00	17.53
標準偏差 s	3.61	0.43	3.86	0.67	0.74	0.79	5.65	2.32	6.11
棄却限界 o	8.49	1.02	9.09	2.28	2.52	2.68	13.13	5.38	14.19
相対的散布度 C	0.44	0.93	0.50	0.27	1.12	0.43	0.58	1.08	0.81

第6表 浮選条件の実験範囲

浮 選 方 式	試 料	給 鉱 粒 度 < 200mesh (%)		パ ル プ 濃 度 (%)		パ ル プ pH		条件付与時間 (min)		浮 選 時 間 (min)	
		範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均
		回分式	A	0	94	0	25	1.1	7.3	0	15
浮 選	B	22	86	0	25	2.8	7.5	0	5	0	2
	C	19	89	0	25	0.6	7.7	0	5	0	2
	D	16	89	0	25	0.3	8.6	0	5	0	1
連続式 浮 選	B	11	82	n.d.	24	0.6	7.9	n.d.	30	n.d.	50
	C	13	89	n.d.	24	1.2	8.7	n.d.	30	n.d.	50
	D	18	83	20	25	1.8	8.9	n.d.	30	n.d.	50

試 薬 添 加 量 (g/t)													
Ca(OH) ₂		Na ₂ CO ₃		NaCN		ZnSO ₄		KAX		AF #25		MIBC	
範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均
1,000	1,364	2,000	1,272	125	75	375	225	0	20	0	10	0	15
1,500	1,722	1,000	2,111	150	125	450	375	0	50	-	-	0	15
0	1,500	0	1,000	150	82	300	245	0	20	-	-	0	15
0	1,000	0	1,000	100	82	300	245	0	10	-	-	0	15
1,500	2,270	1,000	2,384	100	150	320	500	95	78	-	-	8	21
1,000	2,200	1,000	2,200	224	117	694	611	93	104	-	-	n.d.	20
1,000	1,571	1,500	1,357	364	184	570	541	56	56	-	-	n.d.	23

料Aに対してやや大きく、試料Dに対しては著しく大きいことを示している。すなわち各試料に対する浮選条件変動の範囲にはそれ程大きい差がないことから、銅-亜鉛分離成績の差異は浮選

条件の変動に対する各試料の敏感性によるものと考えられる。第5表の連続式浮選における銅-亜鉛の選択度係数の相対的散布度は試料Cが最小で、試料Bがやや大きく、試料Dはかなり大きい。回分式浮選の場合に較べてその値は概して小さく、特に試料Dは顕著に小さい値を示している。一方連続式浮選の条件は回分式浮選のそれを基準にして決定したもので、2, 3の実験を除き大差のないことから、成績変動の範囲が狭いのは浮選区における精選および清掃、中鉱の再摩鉱などの効果によるものと考えられる。

第7表は各試料の回分式浮選および連続式浮選における銅・亜鉛可選性係数と選択度係数の平均値の検定^{12)~14)}を示す。

第7表 可選性係数および選択度係数の平均値の検定

浮選方式	試料	母分散の検定						平均値の検定					
		K				S		K				S	
		Cu		Zn		Cu-Zn		Cu		Zn		Cu-Zn	
		F_0	F^\dagger	F_0	F^\dagger	F_0	F^\dagger	F_0	F^\dagger	F_0	F^\dagger	F_0	F^\dagger
回分式浮選	A-B	1.32	3.34	2.36	3.34	2.86	3.34	17.85	4.41	0.51	4.41	8.09	4.41
	A-C	2.07	2.86	22.59	2.86	16.27	2.86	1.20	4.32	79.46*	4.32	0.60*	4.32
	A-D	1.83	3.07	68.45	3.07	46.91	3.07	114.42	4.41	162.43*	4.41	4.96*	4.41
	B-C	1.56	2.95	9.57	2.95	1.54	2.95	41.42	4.38	237.56*	4.38	16.20	4.38
	B-D	2.43	3.44	162.18	3.44	4.43	3.44	51.25	4.49	115.67*	4.49	16.45*	4.49
	C-D	3.80	2.95	1,546.90	2.95	10.58	2.95	1,475.30*	4.38	218.64*	4.38	7.05*	4.38
連続式浮選	B-C	25.17	5.91	3.39	3.26	20.81	5.91	131.71*	4.49	44.30*	4.49	130.83*	4.49
	B-D	2.44	2.67	28.67	2.67	2.49	2.67	2.90	4.24	183.43*	4.24	2.76	4.24
	C-D	61.53	5.89	8.44	5.89	51.93	5.85	83.28*	4.45	18.74*	4.45	45.90*	4.45
回分式浮選-連続式浮選	B	9.58	2.82	1.09	3.28	6.40	3.28	413.80*	4.35	4.88	4.35	452.93*	4.35
	C	1.68	5.93	35.29	3.36	1.13	5.93	82.57	4.54	29.87*	4.54	56.08	4.54
	D	9.60	3.25	5.19	2.77	1.01	2.77	119.65*	4.32	95.28*	4.32	40.26	4.32

* 母分散の検定で分散が同一でない認められ、一様性の検定を用いて得られた値

† 有意水準5%のF分布表の値

第7表によれば実験範囲内では有意水準5%で次の関係が認められる。

(1) 回分式浮選において、銅の可選性係数には試料A-B, A-D, B-C, B-D, およびC-D間で、亜鉛の可選性係数には試料A-C, A-D, B-C, B-DおよびC-D間で、銅-亜鉛の選択度係数には試料A-B, A-D, B-C, B-D, およびC-D間で有意差が認められるが、その他の場合では有意差が認められない。

(2) 連続式浮選において、銅の可選性係数には試料B-CおよびC-D間で、亜鉛の可選性係数には試料B, CおよびD相互間で、銅-亜鉛の選択度係数には試料B-CおよびC-D間で有意差が認められるが、その他の場合では認められない。

(3) 回分式浮選および連続式浮選の間には試料B, CおよびDについていずれも有意差が認められる。

上記(3)の各試料に対する回分式浮選と連続式浮選の成績の差異はスケールアップの問題とも関連するもので、ほぼ同一浮選条件の回分式浮選と連続式浮選の銅、亜鉛の可選性係数および選択度係数についてそれぞれの比を求め第8表に示した。

12) 奥津 恭：推計学の問題とその解き方。(1951), 34.

13) Keeping, E. S.: Statistical Inference. (1962), 216.

14) 淡中忠郎：統計学の理論と応用。8. 版(1963), 48.

第8表 ほぼ同一浮選条件の銅・鉛セミバルク回分式および連続式浮選の可選性係数および選択度係数のスケールアップ率(ϕ_K, ϕ_S)*

試料	実験番号		可選性係数のスケールアップ率 ϕ_K		選択度係数のスケールアップ率 ϕ_S
	回分式 浮選	連続式 浮選	Cu	Zn	Cu-Zn
B	1	2	3.3	0.26	4.4
C	2	1	1.9	0.93	2.4
D	3	1	2.4	0.69	3.1

$$* \phi_K = \frac{K_{cont.}}{K_{batch}}, \quad \phi_S = \frac{S_{cont.}}{S_{batch}}$$

ここに ϕ_K は可選性係数のスケールアップ率, ϕ_S は選択度係数のそれを表わす。

上記回分式および連続式浮選の成績は著者の1人が日本曹達株式会社津工場に在職中, 昭和33年4月~12月に亘り行つた実験によるもので, 比較のために昭和37年9月~11月における横田鉱山株式会社横田鉱業所における浮選操業の銅・鉛セミバルク浮選条件および成績の現状を示せば第9表の如くである。

第9表 横田鉱山における浮選操業の銅・鉛セミバルク浮選条件および成績*

試料	原鉱品位 a (%)			精鉱品位 r (%)			実収率 R (%)			可選性係数 K	
	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn	Cu	Zn
黒鉱系	0.97	2.22	8.66	8.17	21.72	15.43	59.81	69.50	12.65	12.37	1.84
黄鉱系	1.15	0.44	2.84	14.48	3.82	10.62	88.85	61.40	26.49	29.81	4.18

選択度係数 S Cu-Zn	パルプ濃度 (%)	パルプpH	試薬添加量 (g/t)								
			Ca(OH) ₂	NaCN	ZnSO ₄	Na ₂ S ₂ O ₃	Na ₂ SiO ₃	ケブラコ	KAX	MIBC	TF#9†
10.57	28	6.8	n.d.**	63	-	375	-	55	59	28	8
25.62	26	11.5	n.d.	49	625	-	150	-	124	67	16

* 昭和37年9月~11月までの3ヶ月間の平均

** 添加量不明

† TF#9 高砂浮鉱油9号

すなわち銅および亜鉛の可選性係数は黒鉱系ではそれぞれ12.37および1.84, 黄鉱系では29.81および4.18であり, 銅-亜鉛の選択度係数は黒鉱系では10.57, 黄鉱系では25.63である。これらの成績を第5表に示す連続式浮選の結果と比較すれば, 黒鉱系のそれは試料B-実験13と試料C-実験1のそのの間, 黄鉱系のそれは試料D-実験1と実験2のそのの間であり, 連続式浮選の結果が操業成績に対応し得るものであることを示している。また第5表の結果から黒鉱は鉱種による成績の差異が大きいのに反して, 黄鉱は浮選条件による差異が大きいことが推察され, この事実は操業上特に注意を要する問題であり, 黒鉱系では給鉱の均一性が, 黄鉱系では浮選条件の調整が特に操業成績の向上と安定の要素として, 極めて重大であるといえる。

5. 総括

(1) ある選別過程で得られる微分精鉱の品位は選別される産物の瞬間の品位に比例するという仮定のもとに導びかれた可選性関数の比として2成分の選択度を定義する選択度関数を導入した。

(2) 選択度関数の指数を選択度係数と名付け, 精鉱量と選択度および選択度係数の関係を求める共点図表および共線図表を作製した.

(3) 複雑硫化鉱の銅・鉛セミバルク浮選における銅および亜鉛の可選性係数および選択度係数を求め, これらの値の試料の種類, 浮選方式および条件などによる相違を統計的に解析した.

本研究に当り大谷正康教授は統計解析に関し御教示を賜り, 真島 宏助教授は御批判を賜った. ここに記して深謝の意を表す. また実験に協力された日本曹達株式会社社会津工場研究第二課係長堀 梓, 同課多田 満, 桑原弦介の諸氏に厚く感謝する. 御便宜を賜った同工場長柏山松三, 同課長永田文雄, 日曹金属鉱山株式会社本社技術部長渡辺 開, 資料を提供された横田 鉱山株式会社横田鉱業所所長白岩 寛, ならびに同所選鉱課長古賀末雄, 同係長越後幹男の諸氏に深謝する.