

タンザニア連合共和国  
ナトロン湖天然ソーダ灰開発計画

および

関連輸送施設調査

プレ・フィージビリティ調査報告書

第二部

昭和51年8月

国際協力事業団

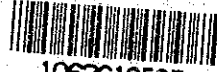
国際協力事業団

受入 月日 '84. 4. 17	416
登録No. 03586	68.4
	SD

第 二 部

天然ソーダ灰開発計画調査

JICA LIBRARY



1063619[9]

ABBREVIATIONS :

t., Mt., M/t	.....	metric ton
St., s/t	.....	short ton
wt%	.....	weight per cent
\$	.....	US\$

US\$1.00 = Tshr 8.16

Tshr 1.00 = US\$ 0.122549

# ソーダ灰開発

## 目次

1	ソーダ灰と天然資源	1
1-1	ソーダ灰の性質	1
1-2	ソーダ灰の用途	1
1-3	ソーダ灰の品質	2
1-4	天然ソーダ資源	3
2	ナトロン湖の概要	5
2-1	ナトロン湖の概観	5
2-1-1	位置および面積	5
2-1-2	気象	5
2-1-3	地形	7
2-1-4	地質	11
2-1-5	周辺地域の経済活動	12
2-2	ナトロン湖における調査内容	15
2-2-1	調査スケジュール	15
2-2-2	調査のための人員および調査機材等	16
2-2-3	調査方法	16
2-3	ナトロン湖のソーダ資源	19
2-3-1	資源の生成	19
2-3-2	資源の分布状況	22
2-3-3	資源の組成	22
2-3-3-1	クラストの組成	26
2-3-3-2	ブラインの組成	27
2-3-4	資源の埋蔵量	28
2-3-4-1	クラストおよびブラインの厚さ	28
2-3-4-2	炭酸ソーダ分の埋蔵量の算定	28
3	工場建設地の選定	37
3-1	工場建設地選定の要因	37
3-2	工場建設地	37
3-3	建設地の検討	38
3-3-1	タンガ	38

3-3-2	フルーシヤ	38
3-3-3	ナトロン湖畔	38
3-4	工場建設予定地	41
3-4-1	建設地の決定	41
3-4-2	ナトロン湖畔における建設候補地点の決定	41
3-5	クラスト採掘予定地	42
3-6	原料クラストのパイプライン輸送の可能性	42
4	工場設計	47
4-1	クラストの採掘	47
4-1-1	採掘開始地点	47
4-1-2	採掘量と採掘面積	47
4-1-3	採掘方法	47
4-2	ソーダ灰精製プロセス	49
4-2-1	天然ソーダ灰精製プロセス	49
4-2-2	ナトロン湖天然ソーダ灰精製プロセス設計の基本概念	52
4-2-3	プロセス設計の前提条件	54
4-2-4	ソーダ灰精製プロセス	55
4-2-5	製品の品質と原単価	61
4-2-6	主要機器	61
4-2-7	工場配置	63
4-3	ユーティリティー	63
4-3-1	ユーティリティーの消費量	63
4-3-2	用水計画	64
4-3-2-1	水源	64
4-3-2-2	生活用水	67
4-3-2-3	水処理設備	67
4-3-3	蒸気	69
4-3-4	エネルギー源	69
4-3-4-1	電力	69
4-3-4-2	燃料	74
4-3-4-3	ベニンジ川の水力発電の可能性	78
4-3-4-4	地熱発電の可能性	78

4-4	プラント所要人員数	80
5	プラント建設費および製造コスト	85
5-1	工場設備建設費用	85
5-1-1	工場設備建設費用算出の前提条件	85
5-1-2	工場設備建設費の算出	86
5-1-3	20年償却後の設備更新費用について	89
5-2	製造コスト	89
5-2-1	製造コスト算出の前提条件	89
5-2-2	製造コストの算出	91
5-3	総合的考察	93
6	需給動向と価格	99
6-1	ソーダ灰の生産量	99
6-1-1	世界におけるソーダ灰生産量の推移	99
6-1-2	現在のソーダ灰総生産量の推定	101
6-1-3	将来の供給能力の予測	103
6-2	ソーダ灰の需要動向	106
6-2-1	ソーダ灰需要の把握の可能性	106
6-2-2	過去における需要の推移	107
6-2-3	輸出国の実績	107
6-2-4	輸入国の実績	110
6-2-5	将来の需要の見通し	110
6-3	需給バランスの予測	112
6-3-1	全世界レベルでの需給バランス	112
6-3-2	輸出市場における需給バランス	112
6-4	ソーダ灰の価格動向	113
6-4-1	過去における価格動向	113
6-4-2	最近の価格動向	114
6-4-3	将来の価格動向	114
7	まとめ	115
7-1	技術面からの要約	115
7-1-1	ナトロン湖のソーダ灰資源	115
7-1-2	天然ソーダの採掘と精製プロセス	116

7-2	経済面からの要約	116
7-2-1	ソーダ灰生産の規模とコスト	116
7-2-2	ソーダ灰の需給と価格の動向	116
7-2-3	タンザニア・ソーダ灰の市場性	117



## 第1章 ソーダ灰と天然資源

### 1-1 ソーダ灰の性質

ソーダ灰(無水炭酸ソーダ)は分子量105.99, 比重2.533, 融点851°Cの吸湿性の白色粉末で, 水に溶解した場合溶解熱を発生し, 相当強いアルカリ性を呈する。

以下にソーダ灰のおもな性質を表示する。

化学式	$\text{Na}_2\text{CO}_3$
分子量	105.99
化学当量	53.00
電気化学当量	1.9770 $\frac{\text{g}}{\text{Ah}}$
色・形態	白色粉体
比重	2.533
吸湿性	やゝ吸湿
比熱	0.249 $\frac{\text{cal}}{\text{c}\cdot\text{mol}}$ (at 20°C)
融点	851°C
沸点	分解
水100gに対する溶解度	7.1g (at 0°C) 21.6g (at 20°C) 45.5g (at 100°C)
溶解熱	-5.9 $\frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$ (at 100mol H <sub>2</sub> O)

### 1-2 ソーダ灰の用途

炭酸ソーダ, 重炭酸ソーダ, セスキ炭酸ソーダおよび炭酸カリウム等の炭酸アルカリは, カ性アルカリとともにアルカリ原料として重要な工業薬品である。炭酸アルカリのうち最も重要なものは炭酸ソーダで, 一般にソーダ灰と呼ばれている。

ソーダ灰はカ性ソーダ等のカ性アルカリにくらべてアルカリ性は弱い, その反面, 粉末状固体として比較的安定で取扱いが容易である。ソーダ灰は, かなり古くから利用されてきたが, とくに18世紀に入ってガラス, 石けんなどに対する需要が増加したため, 豊富に得られる食塩から製造することが考えられ, ルブラン法などの合成法を経て, 1866年ソルベー法による合成ソーダ灰が出現し, また1900年代にはケニアのマガジ湖, アメリカのカリフォルニア州オーエンス湖(Owens Lake), シアレス湖(Searles Lake)およびワイオミング州グリーンリバー(Green River)等から天然ソーダ灰が産出されるようになって今日に及

んでいる。

このように、ソーダ灰の需要伸長は、その初期においてガラス類や石けんの製造原料用として興ったが、産業の発展とともにその用途は広まり、現在では板ガラスおよびガラスびん等ガラス製品類の製造原料をはじめとして、重炭酸ソーダ・珪酸ソーダ・重クロム酸ソーダ・亜硫酸ソーダその他のソーダ塩類、炭酸マグネシウム・炭酸バリウム等炭酸塩などの無機薬品類の製造、グルタミン酸ソーダその他の調味料の製造、染料・香料・医薬等の有機合成用、脂肪酸からの石けんの製造ならびにその他の洗剤の製造原料、紙・パルプの製造、綿・羊毛等の洗浄・精練・染色用、製鉄業における銑鉄からの脱硫、工業用水その他の水の軟化剤、各種中和用、塩水・石油・油脂等の精製用、陶磁器・ホウロウの釉薬原料、或いはゴムの再生用など広範多岐に亘っている。しかしながらこれらの需要分野において、最も多量に消費される部門は現在もなお板ガラスおよびガラス製品の製造用であり、先進工業国ではその50%以上をこの部門が占めているほか、無機・有機薬品、染料及び洗剤等化学工業用が20数%でこれに次いでいる。

ここに世界における一般的需要傾向を代表しているものと推定できる日本およびアメリカにおけるソーダ灰の需要構成を表1-1に示す。

表1-1 ソーダ灰の需要構成

(%)

	日 本			ア メ リ カ		
	1973年	1974年	1975年	1973年	1974年	1975年
板ガラス・ガラス製品	59	57	57	52	55	51
化学工業	21	25	25	29	24	27
紙・パルプ	1	1	1	3	7	8
石けん・洗剤	1	1	1	4	5	6
水処理	} 18	} 16	} 16	4	3	3
その他				8	6	5

注：1975年は推定

### 1-3 ソーダ灰の品質

ソーダ灰は前述したごとく吸湿性のある白色粉粒状固体として生産され、製品として利用される。このうち、見掛比重が0.8程度以下のものを軽質ソーダ灰といい、使用方法によっては粉じんとなって飛散して損失を招くばかりでなく、環境を汚染することがあるので、見掛比重のより大きい約1.2以上のかつ粒子の大きい重質のソーダ灰が要求されることが多くなった。

ソーダ灰は高純度のものが得られるので、とくに工業先進国では不純分除去対策を必要としない純度99%以上に精製されたものしか利用されない。そのうえ、これら高純度ソーダ灰はアルカリ源として最も安価に入手し得るものとなっている。

表1-2 ソーダ灰の品質例 (%)

	ゲニア	天然灰		合成灰
		アメリカ		日本
		A	B	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	97.1	99.8	99.8	99.5以上
NaHCO <sub>3</sub>	0.05	—	—	—
NaCl	0.3	0.03	0.02	0.3以下
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.40	0.07	0.02	0.05以下
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.035	0.0006	0.0005	0.001以下
NaF	0.28	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O insol.	0.4	0.0	0.0	0.002

ソーダ灰に食塩等の不純分が混在すると装置、機器を腐食して事故の原因をつくり、また製造される工業薬品類の品質、収率を低下させるなどから、不純分の多いものはユーザーから忌避される。とくに近年、産業発展に伴う環境汚染問題が国際的に大きな課題となってきたが、人体の皮膚、呼吸器粘膜を侵すフッ素による大気汚染がその重大な一つの挙げられており、アメリカ労働衛生専門官会議 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists — ACGIH) の環境許容度に対する勧告や、日本における厳格な法律で規制されている。ガラス類の製造に際してのフッ素の役割はかつては有用なものであったが、環境保護を至上とする現在にあっては、これが工場から飛散することは許されなくなった。フッ素はソーダ灰の使用過程において排ガス中に入り、逸散する。したがって、フッ素不純分の除去がなければ今後の世界市場とくに工業先進国市場において少からぬ制約を受けることとなる。

#### 1-4 天然ソーダ資源

天然ソーダの存在については世界中の数カ所において報告されており、これらはトロナ (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · NaHCO<sub>3</sub> · 2H<sub>2</sub>O) のようにナトリウム塩の鉱物として賦存するものと、ブライン (ナトリウムの炭酸塩、硫酸塩、塩化物およびその他の塩類を含む水溶液) として賦存する場合とに分けられる。

天然ソーダの産出地のうち、そのおもなものはアメリカとアフリカである。この中で、すでに

開発されているものにアメリカワイオミング州のグリーンリバーとカリフォルニア州のオーエンス湖およびシアレス湖，アフリカケニアのマガジ湖（Lake Magadi）がある。アメリカの天然ソーダは今や世界最大のソーダ灰供給源となっている。

アメリカのグリーンリバーから産出されるものは良質なトロナ組成の鉱物であり，地下百メートルにおいて幾重にも層をなしていることが確認されている。現在すでに年間数百万トンの規模でソーダ灰として製品化されているが，その埋蔵量はソーダ灰として数百億トンと推定されている。カリフォルニア州では地下ブラインとして汲上げられるが，これはソーダのほか，Halite, Burkeit, Borax等を含含有しており，現在，ソーダ灰，硼砂，芒硝，塩化カリ等がこれから生産されている。このブラインの埋蔵量はソーダ灰として約5億トンといわれている。アフリカではケニアのマガジ湖（Lake Magadi），アンボセリ湖（Lake Amboseli），ボツアナのマカジカジ湖（Lake Makgadikgadi）およびタンザニアのナトロン湖（Lake Natron）等がある。この中でマガジ湖は，今世紀のはじめに開発され，鉱床は湖水であるブラインと，ブライン中の水分が蒸発したトロナの結晶層とからできている。トロナ層からソーダ灰を生産するほか，ブラインから食塩を産出しており，その埋蔵量はソーダ灰として1億トン以上といわれている。

## 第2章 ナトロン湖の概要

### 2-1 ナトロン湖の概観

#### 2-1-1 位置および面積

ナトロン湖は南緯2度20分、東経36度10分のタンザニア国北部にあり、北部海岸のタンガ(Tanga)港から西北の方向へ約460kmの内陸部に位置し、その北岸をケニア国との国境に接している。

ナトロン湖の形は、おおむね南北へ細長い楕円形をなし、幅東西約20km・たて南北へ約50kmで、その面積は約900km<sup>2</sup>である。

#### 2-1-2 気象

ナトロン湖周辺の気温および湿度は、調査団が、湖畔に滞在中(1975年11月20日から11月25日まで)に測定した結果では、最高気温35.0°C、昼夜間の温度差は10°C~20°Cで、湿度は昼間30~40%、夜間約60%であった。

ナトロン湖周辺における気象条件を把握するためには、長期観測の必要があるが、調査団が入手し得たデータによれば、その気象条件は次の通りである。

ナトロン湖の北方約40kmに位置するマガジ湖(Lake Magadi)の年間気象データ(表2-1)によれば、年間最高気温は37°C、最低気温は22°C、で、年間合計降雨量はわずか384mmと少く、また平均湿度は28~65%と極めて乾燥している。

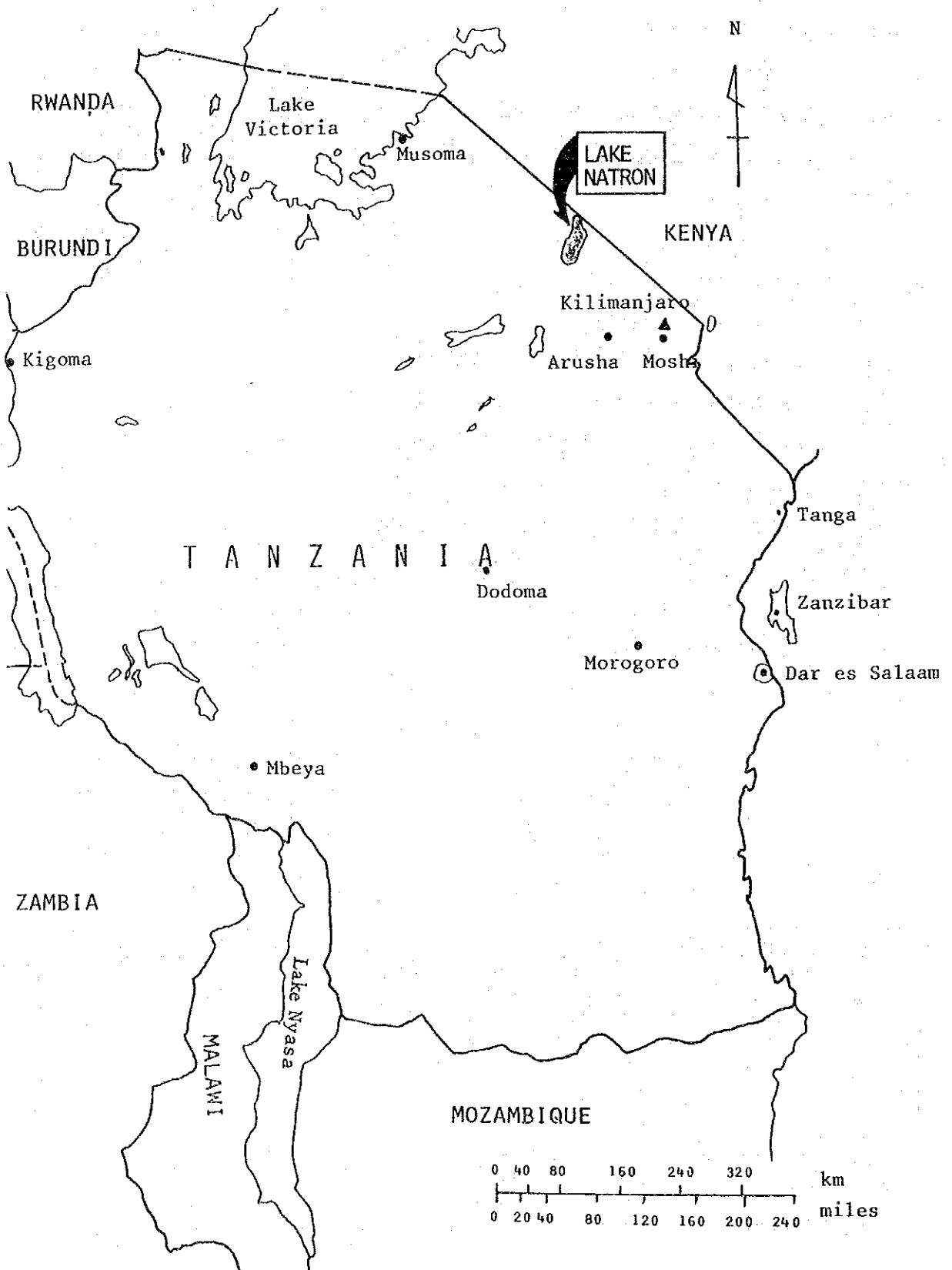
表2-1 マガジ湖における気象条件

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
降雨量(mm)	29	49	63	85	54	9	2	3	3	13	29	45	384
降雨日数(日)	6	5	8	13	9	2	0	1	1	3	7	7	62
最高気温(°C)	37	37	37	35	33	33	32	33	35	37	35	35	—
最低気温(°C)	23	24	24	23	23	22	22	22	23	24	23	23	—
平均湿度(%)	28~65% (平均 32%)												
過去における年間最高降雨量	621mm												
過去における年間最低降雨量	153mm												

「Area Studies in East Africa」(K. J. Hargrave)

さらに「Tanzania in Map」(L. Berry1971年)に記された年間降雨量の分布図(図2)

図 2-1 ナトロン湖位置図



2)によれば、ナトロン湖周辺の降雨量は年間600mm以下である。

以上のデータから判断すると、ナトロン湖周辺は、極めて降雨量が少く乾燥した「Semi-desert climate」に属する気候である。

したがって、ナトロン湖における蒸発速度は極めて高いものと考えられ、湖畔において湖から採取したブライン容器に入れ蒸発速度の測定を実施したが、すでに小雨期に入っていたためか、連日のように夕立にみまわれ蒸発量と雨量とがほぼ等しく十分な成果は得られなかった。しかし、GuestとStevensによつて1951年実施されたナトロン湖における蒸発測定によれば、平均8.4mm/d、最高25.4mm/dであり、さらにマガジ湖における蒸発量は、表2-2に示す通り年間平均3302mmであり、これを1日当たり平均でみれば、9.05mmで前述のナトロン湖における蒸発量とほぼ同等である。

表2-2 マガジ湖における降雨量と蒸発量

年間平均降雨量	406mm
年間平均蒸発量	3,302mm

「Magadi-The Story of the Magadi Soda Company」

(M. F. Hill 1964年)

ナトロン湖周辺の気象条件は、ソーダクラストの形成に大きな影響を及ぼすばかりでなく、クラストの採掘方法および採掘場所等にも影響を及ぼす。さらに、降雨量は工業用水源となる河川の水量とも密接な関係がある。

したがって、ナトロン湖周辺に百葉箱を設置し、少くとも気温・湿度・降雨量・蒸発量程度は、継続して長期にわたり観測する必要がある。

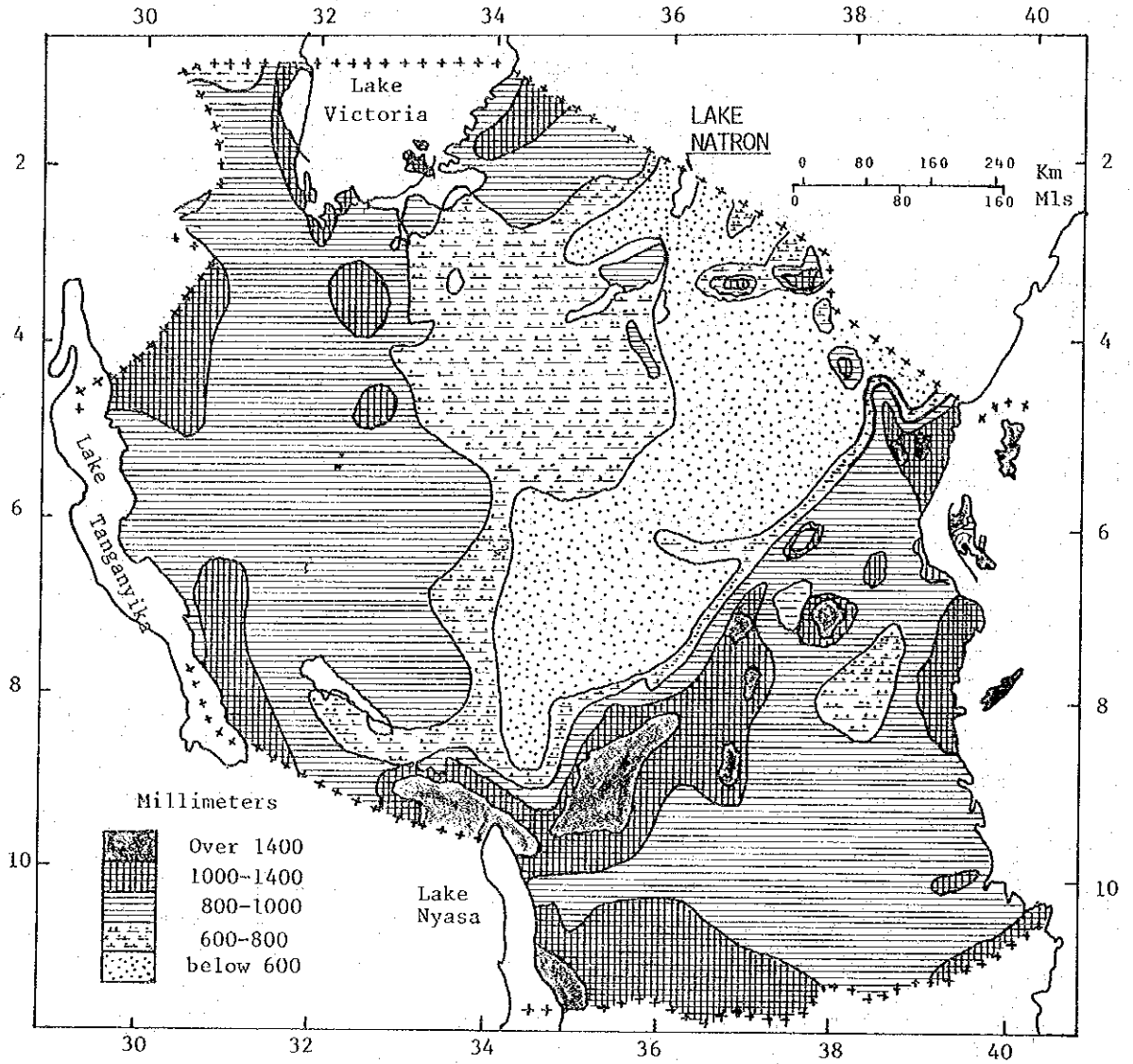
### 2-1-3 地形

ナトロン湖は、世界的にも有名な東アフリカ大地溝帯(East Africa Great Rift Valley)の中に位置し、西側には落差200mから400mの断層が直接湖にせまり、北東部は湖から階段状の断層(Stepfault)を経てほぼ平坦な台地となっている。また南東部には、ゲライ(Gelai)山(標高2,942m)のすそ野が広がっている。(図2-3)

さらに、ナトロン湖は火山地帯に含まれており、湖の周辺には数多くの温泉水が湧出しそのいくつかは河川となって湖に流入している。ナトロン湖をとりまく火山は、南東部のゲライ山の他に、南部にOl Doinyo Lengai(標高2,878m)、南西部にMosonik Hill(標高1,701m)、北部にShombole(標高1,565m)、および北西部にOl Doinyo Sambu(標高2,043m)の山々である。ナトロン湖周辺の火山郡を図2-4に示す。

以上のように、ナトロン湖周辺は盆地状をなし、湖は盆地の底部に位置しているため、湖には

图 2 - 2 年間降雨量分布图



Source: Tanzania Map (I. Berry, 1971)



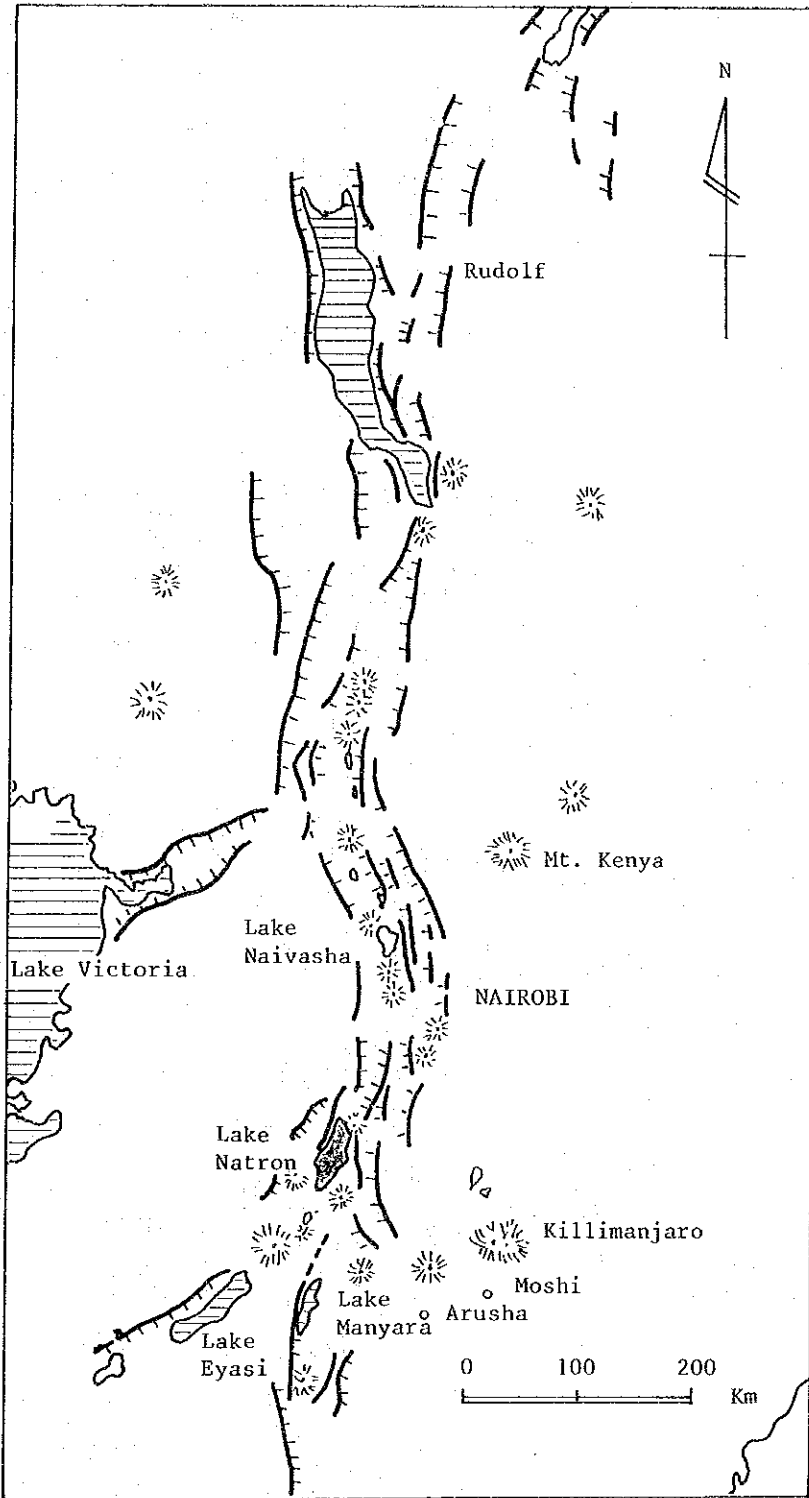
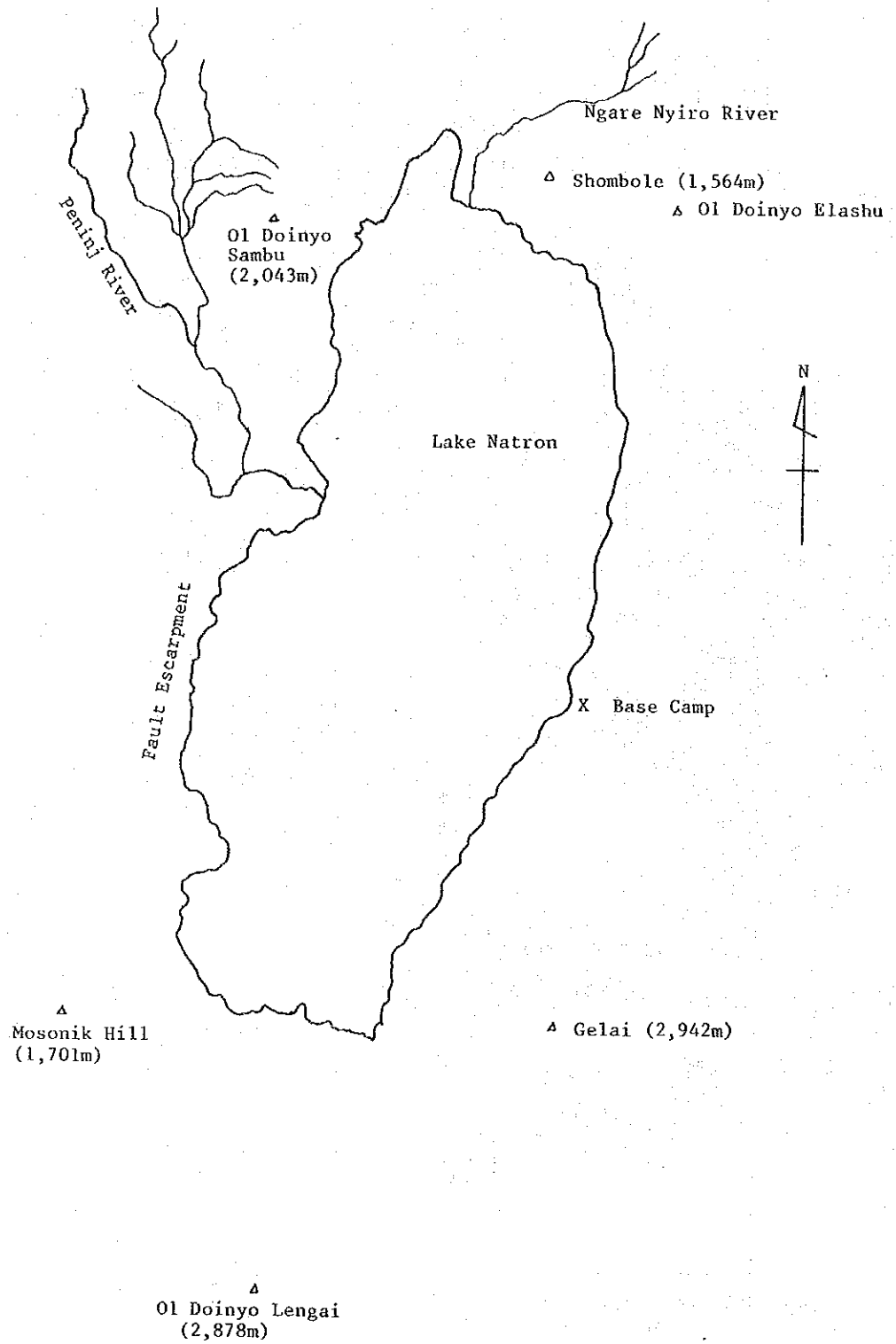


Fig. 2-3 Map showing the distribution of younger volcanoes located in and around the African Great Rift System from the Ethiopian border to the northern part of Tanzania.

図 2-4 ナトロン湖周辺の火山群



降雨水が土砂と共に流入し易く、一方流出する河川はない。すなわち、ナトロン湖は無口湖である。降雨水が流入する流域面積は広く1万数千Km<sup>2</sup>にも達するため、降雨水ならびに土砂の流入量は相当量になるものと推測できる。

ナトロン湖には、その北西部にペニンジ川 (Peninj River) が流入し、また北部にはケニヤ国境からンガレニロ川 (Ngare Nyiro River) が流入している。これら2つの河川は、流域面積も広く一部森林地帯を流れているため乾期においてもある程度の水量を有するものと推察される。

湖に流入する河川水は、ソーダクラストの形成速度を遅くし、また土砂は形成したクラストの上をおおうことが考えられ、クラストの採掘を困難とし、その採掘されたクラストの中に多くの泥を含む結果となり、好ましくない。

#### 2-1-4 地質

ナトロン湖周辺地域の地質史をみると、まず古第三紀までは、Pre-Cambrianの岩石よりなる安定陸塊であった。新第三紀に入つて、南北の方向に地殻変動による断層が生じそれに伴つて多くの火山活動が活発化した。さらに断層は発達し大地溝帯となり火山活動も引続き活発であったものと考えられる。湖南部にあるOl Doinyo Lengaiは現在もなお活火山の一つである。この南北方向への断層に続き東西方向への小規模な断層が生じブロック化され、大地溝帯の中にさらに凹地ができたと考えられ、その地の一つが現在のナトロン湖凹地 (Natron Basin) となったものと思われる。

ナトロン湖周辺の構成岩類は、Pre-CambrianのBasement Rockと新第三紀以降に生じた火山岩からなっている。古いBasement RockとなっているPre-Cambrianの地層は、Pre-Cambrian期の末期からPaeozoicの初頭(6.2~4.85億年前)にかけて起つたカタンガ造山運動で著しい変成作用と褶曲作用を受け、QuartziteやGneissとなっている。さらに、第三紀以降の火山岩はBasalt, Trachyte, Nephelinite, Tuff, Agglomerate等であり、ナトロン湖周辺一帯の大部分はこれら火山岩で占められている。

ナトロン湖周辺の火山岩類は、全般的にアルカリ性の高い岩石で、しかも新しい火山岩ほどアルカリ性が高い。最も新しい火山岩と思われるOl Doinyo Lengaiには、大部分が炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)からなるCarbonatiteの噴火も見られる。1975年J. M. Mushi氏をはじめ他の人々によって行われた湖周辺の火山岩の分析結果によれば酸化ナトリウム(Na<sub>2</sub>O)5~15%、酸化カリウム(K<sub>2</sub>O)1~6%、酸化カルシウム(CaO)3~20%となっている。

ナトロン湖周辺に新しい火山岩と多くの断層が存在するために、2-1-3で述べたように、湖周辺、特にグライ山の西側山麓に多くの温泉の湧水が見受けられる。これらの温泉水は、い

づれもアルカリ性が高い火山岩の中を通過して湧き出しているため極めてアルカリ性が高いもので、湖に存在するソーダクラストの源となっているものと考えられる。採取した温泉水のサンプルのアルカリ性は表2-3の通りである。

表2-3 温泉水のアルカリ性

サンプリング NO,	におい	濁度	P H	T-アルカリ (asNa)g/l	Cl g/l	Si O <sub>2</sub> mg/l
HW 1	無臭	11	9.3	2.1	1.5	65
HW 2	#	1	9.1	6.4	1.2	22
HW 3	#	2	9.7	7.5	5.3	48
HW 4	#	400	10.0	4.1	0.9	42
HW 5	#	8	10.1	2.9	5.5	62
HW 6	#	2	8.9	1.1	0.78	23
HW 7	#	5	9.2	2.0	0.57	38

(注) サンプル採取地点は図2-7に示す。

このような温泉水のナトロン湖への流入は古代数百万年以前から続いているものと考えられ、かつ、その間の地殻変動により現在湖面にみられる以外に、例えば湖底あるいは現在の湖岸の地下に、別のソーダクラストの層が存在しないとは言えない。もし新しくその層が発見されることにでもなれば、現在考えられるクラスト採掘方法以外に、経済性のある採掘方法も考えられることもある。したがって、精製プラント建設基盤調査やエネルギー源としての地熱開発のため以外に、埋蔵された別のクラスト層発見のためにも、ボーリング探査・弾性波探査等を実施することが必要と考える。

#### 2-1-5 周辺地域の経済活動

降雨量が極めて少なく乾燥した Semi-desert climate に属する現在のナトロン湖周辺は、人間の生活環境として良好とは言い難く人口は極端に少ない。わずかに土と灌木で造った小さいドーム形の家屋が数軒あつまつたマサイ族の村落が点在しているにすぎない。マサイ族は牧草を求め牛・山羊等を追って小規模な放牧業を営んでいる程度で、経済活動として特記すべきほどのものではない。

ナトロン湖に流入するアルカリ度の高い温泉水には数センチメートルの小魚が棲息しているが、水産資源として活用出来る量とも考えられない。

さらに、ナトロン湖はセレンゲッティ (Serengeti) 国立公園から東方約100kmの距離にあり、その周辺にはキリン・ゼブラ・エランド等野生動物の小群が見られ、また湖にはフラミンゴの大群が見られるがこれらを観光資源として利用するには種類量共に乏しいと思われる。





## 2-2 ナトロン湖における調査内容

調査団はナトロン湖東岸のマグネサイトNo.1に基地(所在地は図2-6を参照)を設け11月20日から6日間にわたり、ソーダ資源、水資源、プラントサイト、および採掘地等の調査を実施した。

### 2-2-1 調査スケジュール

ナトロン湖における調査スケジュールは次の通りである。

11月20日

- アルーシャ (Arusha) 出発
- ゲライ (Gelai) 山の東北にて野営

11月21日

- マグネサイトNo.1に到着
- キャンプ設営
- ナトロン湖概況調査
- ブラインの蒸発テスト(11月24日まで継続)
- 地形調査(ナトロン湖西岸)

11月22日

- ソーダ資源サンプル採取位置の選定。
- ソーダ資源サンプル採取。
- 河川水調査。
- ソーダクラスト分布状況測量

11月23日

- ソーダ資源サンプル採取
- 河川水調査。
- 採掘地、精製プラント建設候補地点選定調査

11月24日

- 温泉水サンプル採取。
- 地形調査(ナトロン湖東岸)
- 精製プラント建設候補地点選定調査

11月25日

- ナトロン湖出発。
- アルーシャ到着

## 2-2-2 調査のための人員および調査機材等

ナトロン湖畔における調査に要した人員および調査機材等は次の通りである。

### 1. 人 員

○ 専門家	(日 本 人)	10名
○ 専門家	(タンザニア人)	2名
○ 調査助手	(タンザニア人)	3名
○ ヘリコプター	パイロット	1名
○ ドライバー		7名
○ 車輛整備員		1名
	計	24名

### 2. 調査機材等

○ ヘリコプター	(3人用)	1機
○ ランドローバー		7台
○ ローリー		1台
○ 調査用機器	(オーガー等)	1式
○ キャンプ用具	(テント等)	1式
○ ヘリコプターおよびランドローバー用燃料		
○ 食料ならびに飲料水		

## 2-2-3 調査方法

### (1) ソーダクラスト等のサンプル採取

原料となるソーダクラストおよびブラインの組成を分析するために、1973年に実施された湖面全域にわたるサンプル採取等の調査で「原料クラストの採取適地」として選定されたマグネサイトNo.1の北方約20Kmの湖面を中心に30地点を選定し(図2-6)、1地点において、原則として3サンプル(クラストを表面および下層部各1サンプル、ブライン1サンプル)ずつ合計90サンプルを採取した。

サンプル採取地の選定については、事前に地図上で湖岸に基点を設け、これを基準にして湖面上に放射状に1Kmの間隔で採取地をプロットした。

サンプル採取地点への接近のために機動力を有するヘリコプターを利用したが、ヘリコプターのジャイロコンパスを用い、飛行速度と飛行時間によって方向および距離を求め採取地点の確認を行った。

ソーダクラスト採取のための機器としてハンドオーガーを用いたが、乾燥した場所ではクラストが極めて硬く、人力による採取には困難な地点もあった。



图 2-6 Sampling point of Crust

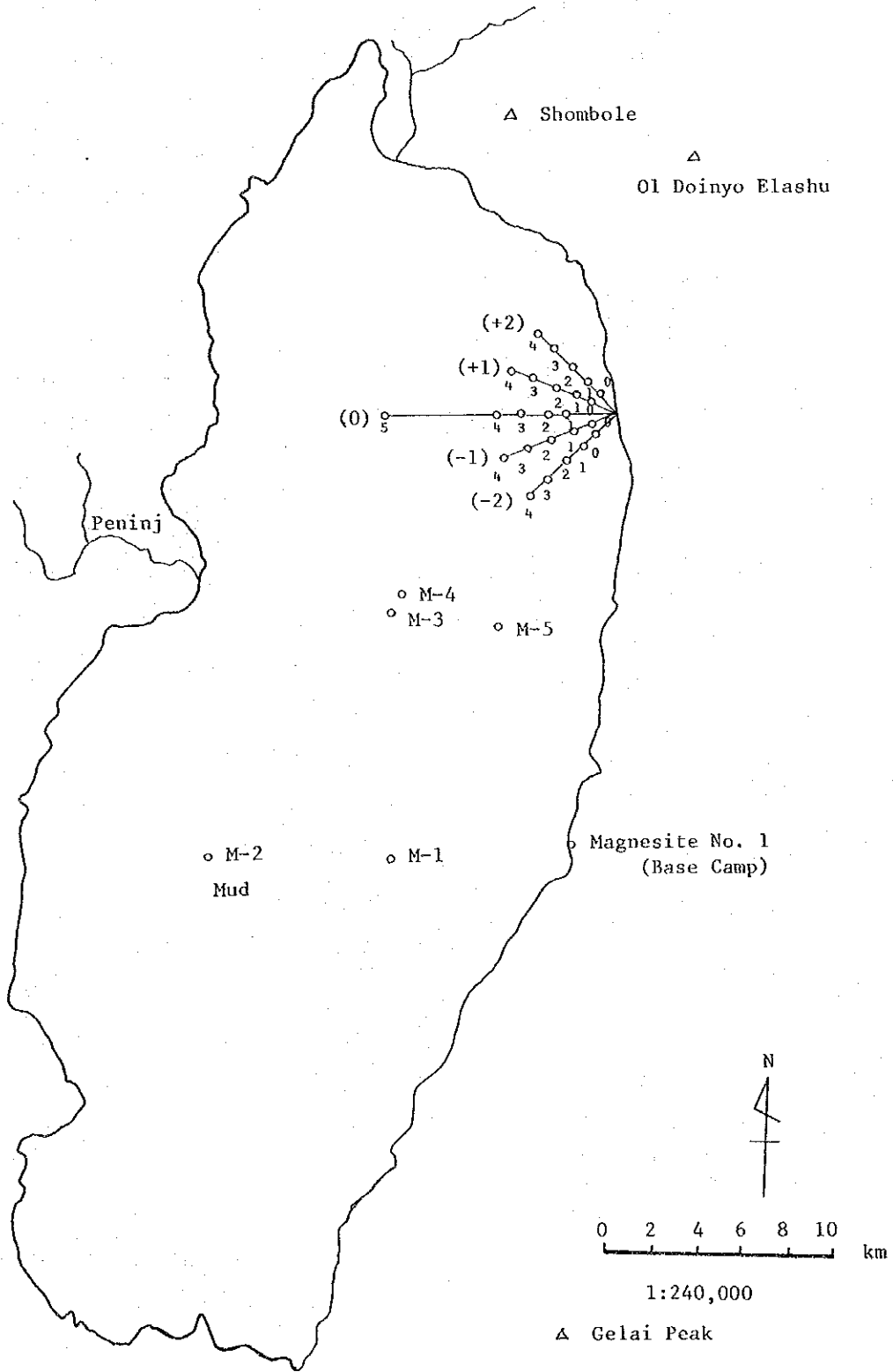
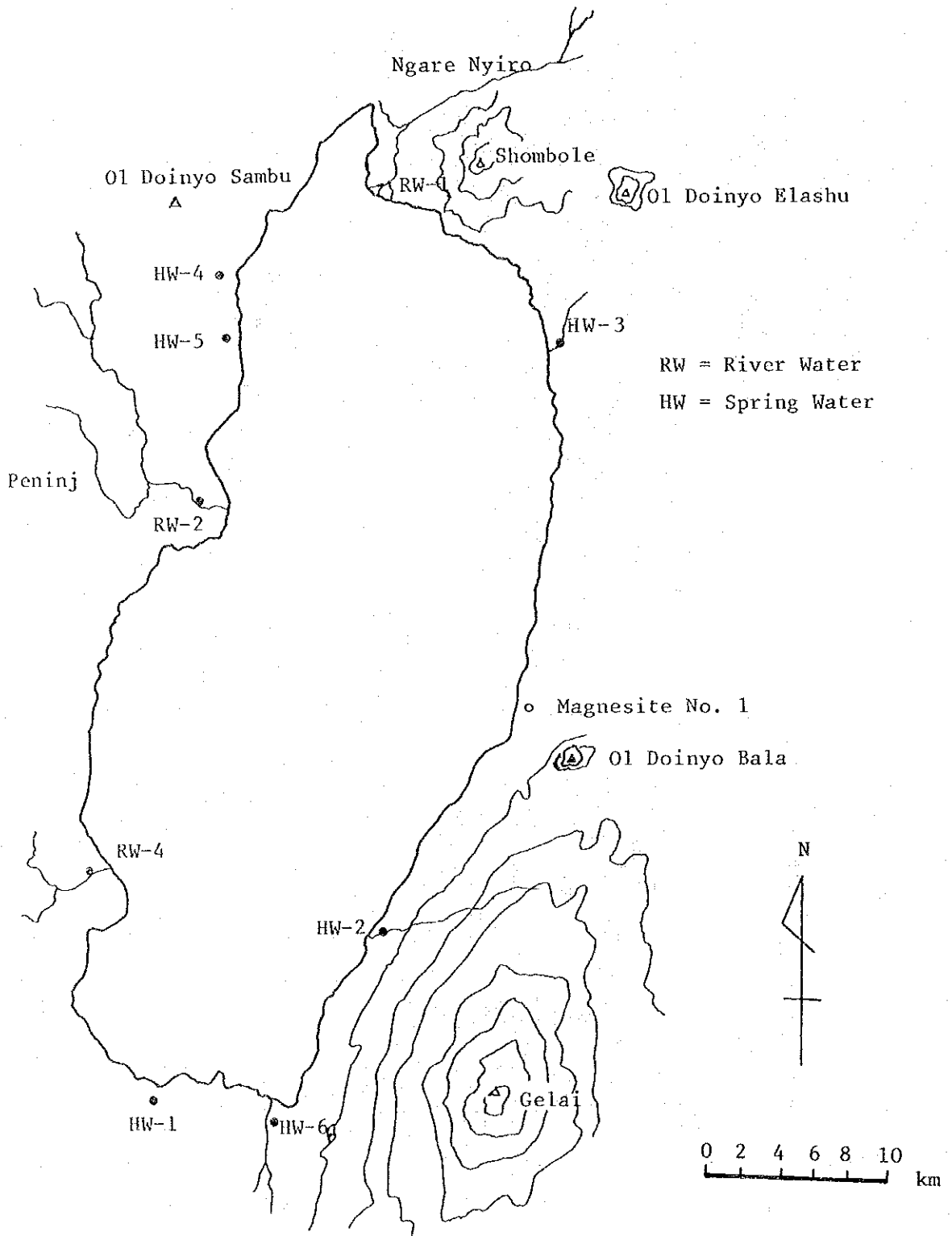


图 2-7 Sampling Point of River Water & Spring Water



ブラインのサンプル採取には小型の電動ポンプを用い、オーガーであけた孔から吸引し採取した。

#### (2) ソーダ資源の埋蔵量推定

ソーダ資源の埋蔵量を推定するために前述(1)でおこなったクラスト等のサンプル採取と同時に、サンプル採取地点で、クラスト及びブラインの厚さを測定した。

クラストの表面面積は、簡易測量器を用いて求めた分布図からプランニメーターにより算出した。

#### (3) 精製プラント建設候補地点の選定

精製プラントをナトロン湖の湖畔に建設する場合の最適地を選定するために、ヘリコプターを用い、上空から湖畔周辺の地形を観察し、入手した地質図を参照して、工場建設候補地点を選定した。

#### (4) 採掘適地の選定

前述(2)によるクラストの厚さの測定と河川水の湖への流入状況等湖周辺の地形を考慮し決定した。

#### (5) 工業用水源およびその水質の調査

ナトロン湖周辺に、クラストの精製プロセスに用いられるに十分な水量を有する河川が存在するか否かを調査するためヘリコプターを用い上空から観察した。

その結果、水源として利用しうると考えられる河川5本について、各々の流量測定を行い、プロセス用水としての適否ならびに飲料水の適否の判定のために水質分析を行う目的でサンプルを採取した。河川水、温泉水のサンプル採取地点を図2-7に示す。

#### (6) ブラインの蒸発テスト

クラストの形成過程、および形成速度を調査するために、湖畔(マグネサイトNo1)にてナトロン湖から採取したブラインの蒸発テストを行ったが、テスト期間中に連日のごとく夕立が降ったため、見るべき成果は得られなかった。

### 2-3 ナトロン湖のソーダ資源

#### 2-3-1 資源の生成

湖の周辺には数多くの温泉水が湧出し、湖に流入している。そのうち、流入量の最も多い3つの温泉水について、各々の流量を測定し、各々の組成を分析したところ、結果は表2-4の通りである。

表 2-4 温泉水の流入量および組成例

	HW-2	HW-3	HW-6	合計/平均	
流 入 量	1800 m <sup>3</sup> /h	400 m <sup>3</sup> /h	1000 m <sup>3</sup> /h	計	3200 m <sup>3</sup> /h
比 重 (15°C)	1.005	1.029	1.002	平均	1.012
Total Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1.47 wt%	1.68 wt%	0.25 wt%	〃	1.13 wt%
Na Cl	0.20 〃	0.85 〃	0.13 〃	〃	0.39 〃
Na <sub>2</sub> SO	0.15 〃	0.43 〃	0.09 〃	〃	0.22
Na F	0.0075 〃	0.026 〃	0.0057 〃	〃	0.013 〃
Si O <sub>2</sub>	0.000022 〃	0.000048 〃	0.000023 〃	〃	0.000031 〃

上記3つの温泉水により、ナトロン湖に流入される炭酸ソーダの量は次の通り試算される。

すなわち、合計温泉水の流入量 3.200 m<sup>3</sup>/h

平均 比重 1.012

Total Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 分組成分 1.13 wt%

とすれば

年間に流入する Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> の量は

$$3.200 \text{ m}^3/\text{h} \times 1.012 \times 0.0113 \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ days} \approx 320 \times 10^3 \text{ t}$$

となる。

湖に流入した温泉水はラグーンを形成し、高温かつ低い湿度の気象条件下において水分は蒸発しクラストの形成が進む。

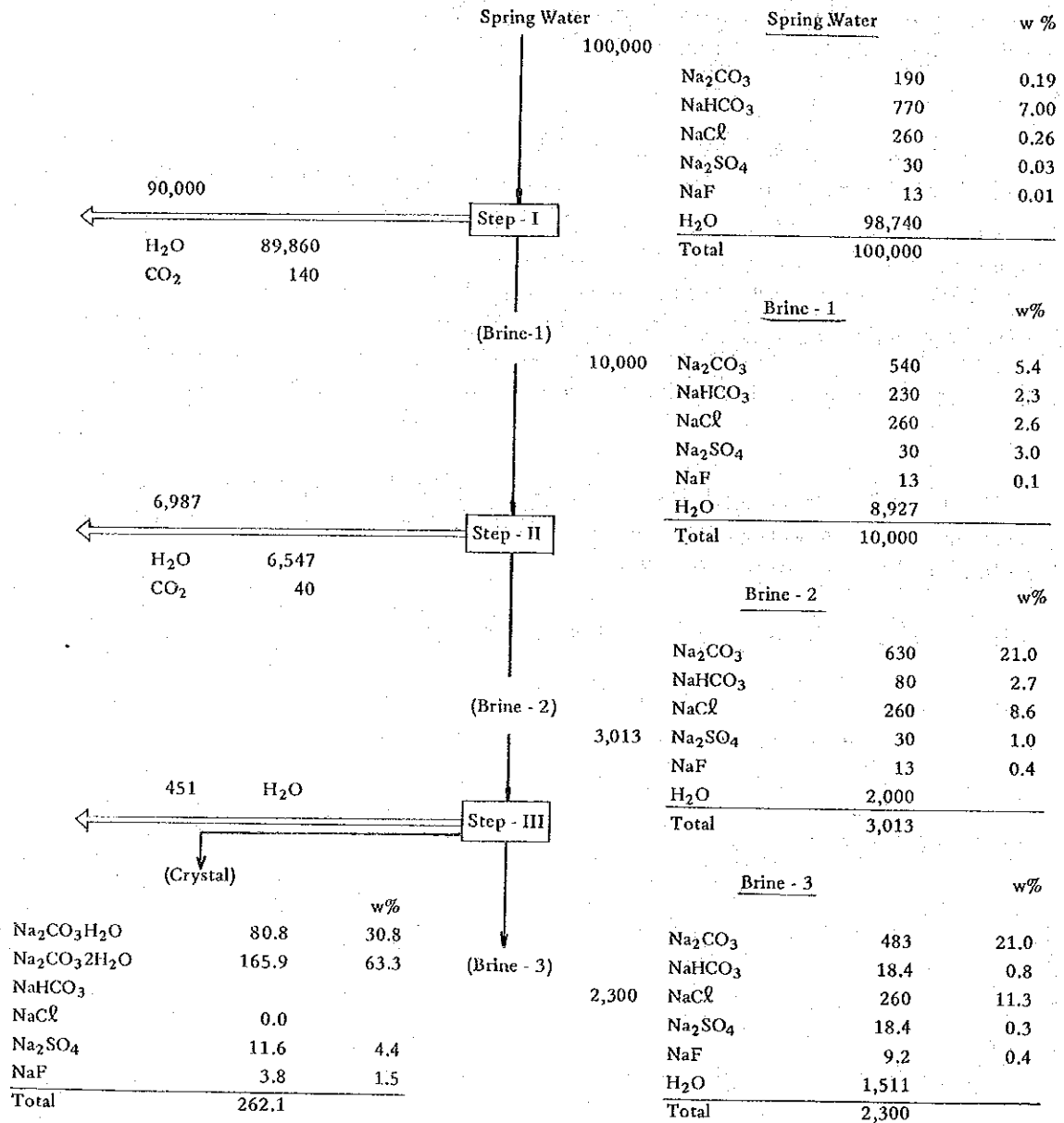
この生成過程につき、1973年に行われた調査の報告書において優れた考察がなされているので以下それを引用する。

\*Fig. III-5 (corresponds to Fig. 2-8 of this report) shows a material balance for evaporation and crystallization which have been taking place in Lake Natron. From the Figure, it can be comprehended how the soda crust has been formed.

Spring water flows into the Lake forming a lot of lagoons. Brine-1 of the Figure indicates that it is concentrated about 10 times (of spring water) through evaporation of Step-I. As the concentration proceeds further, brine of lagoons becomes a saturated solution with 33 times higher concentration than spring water. This is Step II. Through the procedure of evaporation, sodium bicarbonate contained in Brine-1 converts into sodium carbonate. During the process of Step-II to Step-III, crystallization of sodium sesqui-carbonate, sodium mono-hydrate and sodium fluoride takes place in the saturated Brine-2. Sodium chloride, however, is not presumed to crystalize in this stage. Step-III indicates the actual conditions of Lake Natron at this moment.

After all, it is understood from this figure that 2.62 tons of the crystal, that is, the soda crust, and 23.0 tons of soda brine are formed from 1,000 tons of spring water by evaporating about 975 tons of water into the atmosphere.\*

### Material Balance in Natron Evaporation



### 2-3-2 資源の分布状況

ヘリコプターにより湖の上空より湖面を観察し、また湖面における簡易測量器を用いた測量の結果、ソーダクラストの分布状況は図2-9に示す通りである。

湖表面に見られるクラストは、湖の中央部を中心に東西へ幅10~15Km、南北方向へ約25Kmにわたって拡がり、その面積はおおよそ370Km<sup>2</sup>と湖の面積の約40%を占めている。

クラストの色は、ピンク色か薄茶色をおび、上空から見るとクラスト上に亀甲状の模様が数多く入っている。そして、そのクラストをとり囲んでラグーンまたは泥の堆積地帯がある。とくに湖の南部と北端には比較的大きなラグーンがある。

今回の調査結果では、1973年に行われた調査結果に比較して、ベニンジ川(Peninji River)の河口附近から南方にかけての泥の堆積地帯とさらに北部ンガレニロ川(Ngare Nyiro River)の河口南側の泥の堆積地帯がいずれもその分布域を拡大している。1973年の調査時におけるクラストの分布状況は図2-10に示す。

図2-6に示すM-2のサンプリング地点は、前回の調査時ではクラストの存在が記録されているが、今回は約30cmの厚さの泥が堆積しており、その下は白色の硬い結晶物が存在している。この結晶は湖面おおっているソーダクラストとほぼ同一のものと考えられた。

このことは、湖に流れ込む2つの河川が、雨期において陸部の土砂を多量に湖へ運び込み、その土砂が以前にあったクラストの上へ堆積し水分のみ蒸発してしまつたものと考えられる。したがって、その堆積物の下には以前のクラストがそのまま存在していることも充分考えられる。このように考えると、現在目に見えない部分を含め湖全体のクラストの分布状況を正確に把握するためには、ボーリング探査を行う必要がある。

### 2-3-3

ソーダクラストおよびブラインの組成を分析するために、図2-6に示す30地点を選定し、各地点で原則としてクラストについては表面および下層面からそしてブラインはクラストの下からサンプルを採取した。サンプルは、すべて日本に持ち帰り、一般的な化学分析の他にX-線分析・蛍光X-線分析・比色分析・原子吸光分析の方法を用いてクラストおよびブラインの組成を分析した。(分析結果の詳細は表2-8~表2-9)

図 2-9 クラストの分布状況 (1975)

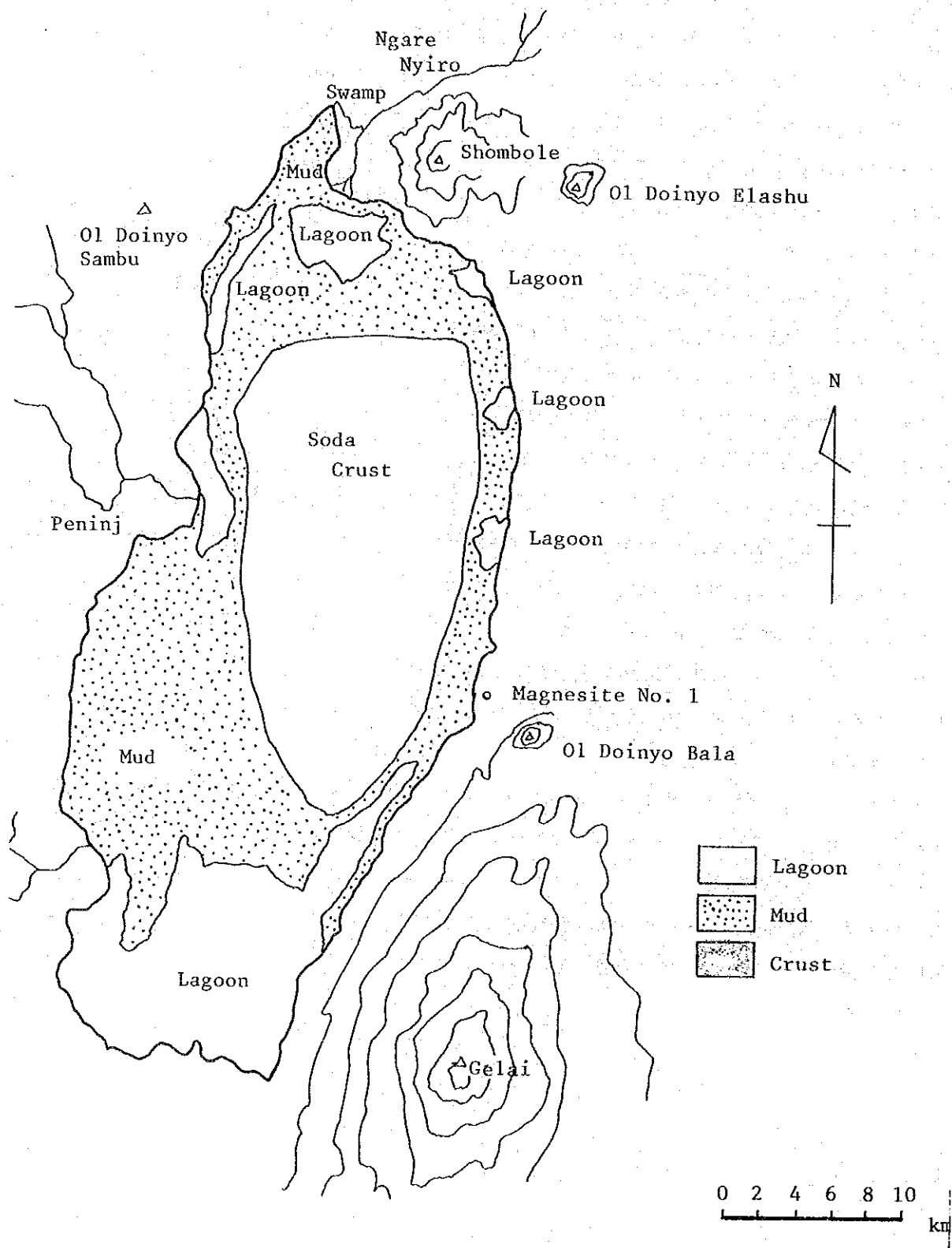
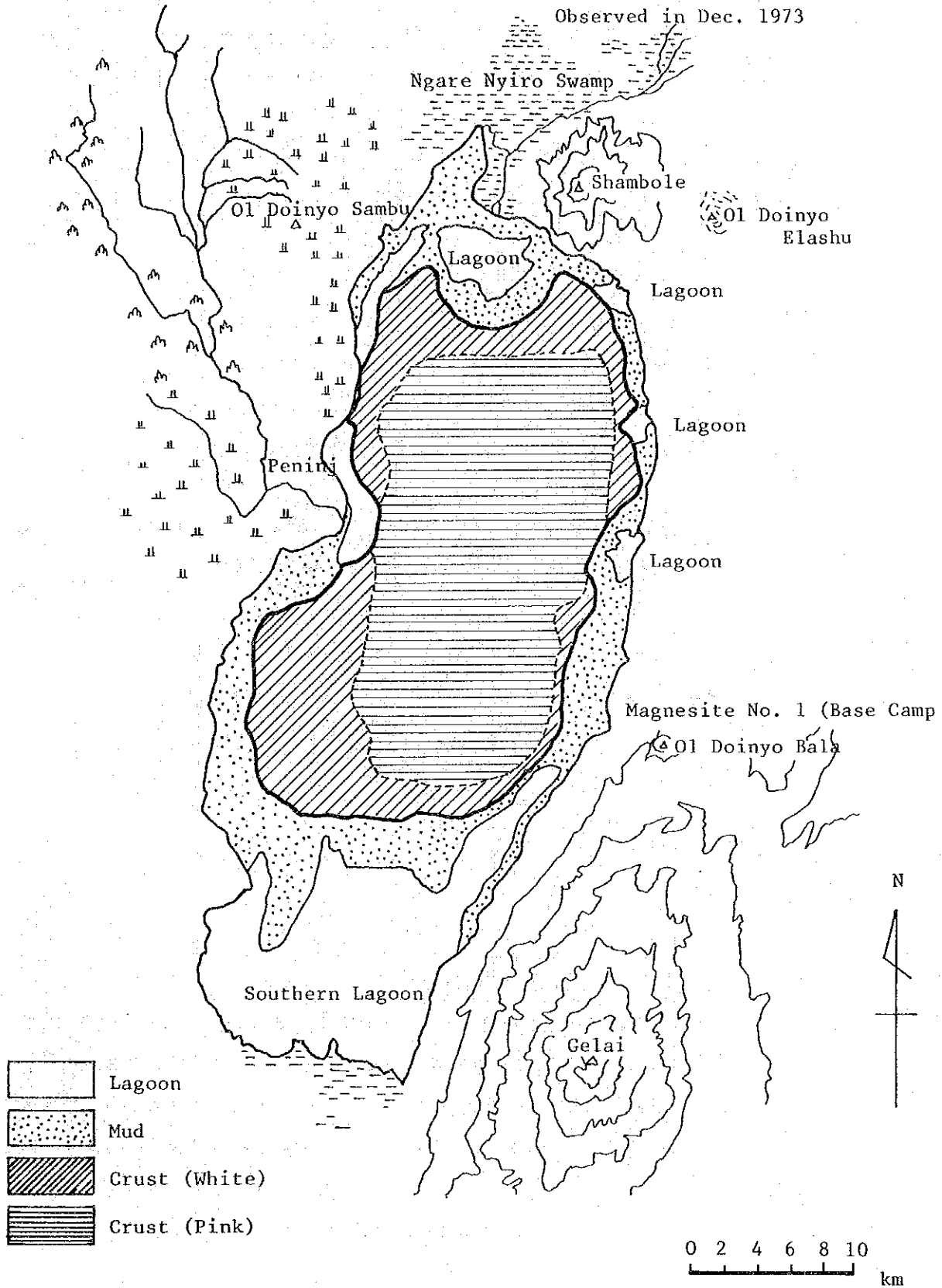




図2-10 クラストの分布状況 (1973年)



2-3-3-1 クラストの組成

クラストの平均的な組成は表2-5の通りである。

表2-5 クラストの平均的組成

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	60.3 wt%
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	30.7
NaCl	5.45
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	2.80
NaF	1.37
$\text{CaCO}_3$ (合計)	0.14
酸不溶解物質	0.15
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.0237
Ti	0.0046
K	0.0014
V	0.0016
Mn	0.0004
Cr	0.00002
Zn	0.0031
Ba	no detected
Li	no detected
Br	0.015
I	0.002
$\text{SiO}_2$	0.19
B	0.006
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.03
COD※	0.10

※Chemical Oxydant Demand

クラストの主成分はセスキ炭酸ソーダ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) と炭酸ソーダの水塩 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) で、この両者でほぼ90wt%を占める。両者の比率は場所により異なり、また、クラストの表層と深層とでも異なる。概して表層のクラストが炭酸ソーダの高い傾向がある。このことは、大気に触れやすい表層の部分においてセスキ炭酸ソーダへの分解がより進行していることを示している。

セスキ炭酸ソーダと炭酸ソーダ以外には、食塩 ( $\text{NaCl}$ )、芒硝 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )、フッ化ソ、

ーダ (NaF) が含有され、さらに微量ではあるがカルシウム、カリ塩、シリカ等も含まれる。重金属類は極めて微量である。

2-3-3-2 プラインの組成

PLAINの平均的な組成は表2-6の通りである。

表2-6 プラインの平均的組成

T - Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	201 wt%
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	193
NaHCO <sub>3</sub>	13
Na Cl	112
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.69
NaF	0.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0005
Ti	0.00017
K	0.41
V	0.000003
Mn	no detected
Zn	0.000004
Cr	0.0000007
Ba	no detected
Li	no detected
Br	0.034
I	0.002
Si O <sub>2</sub>	0.10
B	0.011
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07
COD※	0.05

※Chemical Oxydant Demand

クラストに比較しPLAINでは、炭酸ソーダの濃度に比べ食塩・カリ塩・シリカ・リン酸塩等はかなり濃縮されている。

溶解度からみれば、炭酸ソーダ (Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>) 食塩 (NaCl), フッ化ソーダについては、ほぼ飽和状態にあると言える。したがって、食塩フッ化ソーダはクラスト中に結晶として析出している。

NaF-NaCl-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 系の 25°C, および 50°C における相互溶解度データを表 2-7 に示す。

ナトロン湖における測定では、ブラインの温度は 36~38°C であり、その密度は平均して 1.3 g/cm<sup>3</sup> であった。

ブラインもクラスト同様にピンク色か薄茶色をおびているが、これは、分析結果に COD (Chemical Oxydant Demand) と示されている有機性物質として Pink Halophilic Bacteria が含有されているためと考えられる。

#### 2-3-4 資源の埋蔵量

##### 2-3-4-1 クラストおよびブラインの厚さ

ナトロン湖に存在するソーダ資源の埋蔵量推定のデータを得るため図 2-6 に示す地点において、クラストおよびブラインの各々の厚さを測定した。測定のためのクラスト穿孔にハンドオーガーを用いたが、そのために、湖底と思われるところからさらに下層部にクラストがあるか否かの確認が困難であった。したがって湖底と思われる層より上に存在するクラストについてのみその厚みを測定した。

クラストおよびブラインの厚さは場所により異なるのは勿論であるが、概して、湖岸近くはクラスト・ブライン共に薄く、沖に向うにしたがい厚みを増している。湖岸近くではブラインが存在せずフライトは直接湖底に接している地点もある。

クラストおよびブラインの厚みはその測定結果を表 2-12 と図 2-11 に示す。測定地点クラスト 28 点およびブライン 20 点における各々の平均は 4.3 cm と 3.5 cm である。クラストの厚さについては、1973 年に行われた測定結果の平均 2.5 cm よりも 1.8 cm も厚くなっている。2 年間のうちにクラストが成長し厚みを増したとも考えられるが、これを裏付けるだけの根拠はない。したがって、ナトロン湖におけるクラストの成長速度を知るためには、同一地点において一定期間毎にクラスト厚みを測定することが望ましい。

##### 2-3-4-2 炭酸ソーダ分の埋蔵量の算定

ナトロン湖の表面にみられるクラストとその下に存在するブラインの重量から炭酸ソーダ分の埋蔵量を算定すれば次の通りである。

###### (1) クラスト

クラストの面積 370 Km<sup>2</sup>

クラストの平均厚み 4.3 cm

クラストの平均比重 1.0

クラストの重量

$$370 \text{ Km}^2 \times 0.43 \text{ m} \times 1.0 \frac{\text{MT}}{\text{m}^3} = 1.59 \times 10^4 \text{ MT}$$

表 2 - 7 Solubility in System NaF-NaCl -Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O

Points	Composition of saturated solution (in wt. %)				Composition of dry salts (in wt. %)				d	Solid phases		
	NaF	NaCl	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Total salts	H <sub>2</sub> O	NaF	NaCl	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>				
C	0.40	26.37	0	26.77	73.23	1.40	98.51	0	1.1993	NaF - NaCl		
	0.38	23.70	4.17	28.33	71.67	1.34	83.94	14.72	1.2254			
	0.30	21.41	8.17	29.88	70.12	1.00	71.65	27.35	1.2507			
	0.24	18.50	11.81	30.55	69.45	0.70	60.55	38.66	1.2745			
	0.23	16.14	19.68	32.05	67.95	0.72	50.36	48.92	1.2973			
	0.23	15.17	17.30	32.70	67.30	0.70	46.30	52.01	1.3097			
	0.26	12.80	18.43	31.49	68.51	0.82	40.65	58.53	1.3044			
	0.27	11.71	19.04	31.02	68.98	0.87	37.75	64.38	1.3013			
	0.33	10.90	19.21	30.44	69.56	1.08	35.81	63.11	1.3011			
	0.40	10.53	19.15	30.08	69.92	1.33	35.01	63.66	1.3011			
Q	0.39	10.41	18.62	20.42	70.58	1.32	35.30	63.20	-	NaF + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · 10H <sub>2</sub> O		
	0.64	5.47	19.18	25.23	74.71	2.53	21.63	75.84	-			
	0	15.30	17.40	32.70	67.21	0	46.66	53.34	-			
	0.07	15.32	17.40	32.79	67.21	0.22	46.72	53.06	-			
E	0.27	24.78	2.99	28.02	71.98	0.96	83.36	10.68	1.2093	NaF + NaCl		
	0.23	22.31	6.78	29.28	70.72	0.78	76.19	23.03	1.2336			
	0.23	19.67	11.55	31.45	68.55	0.73	62.55	36.72	1.2673			
	0.23	18.30	13.47	32.00	68.00	0.72	57.18	42.10	1.2785			
	0.32	8.85	22.67	31.84	68.16	1.00	27.80	71.20	1.3043			
	0.33	6.04	34.98	31.35	68.65	1.00	19.26	79.68	1.3115			
	0.33	2.42	28.60	31.35	68.65	1.00	7.72	91.23	1.3326			
	0	18.37	13.63	32.0	68.00	0	57.41	42.59	1.2808			
	N	0.27	24.78	2.99	28.02	71.98	0.96	83.36	10.68		1.2093	NaCl + NaF + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O
		0.23	22.31	6.78	29.28	70.72	0.78	76.19	23.03		1.2336	
0.23		19.67	11.55	31.45	68.55	0.73	62.55	36.72	1.2673			
0.23		18.30	13.47	32.00	68.00	0.72	57.18	42.10	1.2785			
0.32		8.85	22.67	31.84	68.16	1.00	27.80	71.20	1.3043			
0.33		6.04	34.98	31.35	68.65	1.00	19.26	79.68	1.3115			
0.33		2.42	28.60	31.35	68.65	1.00	7.72	91.23	1.3326			
0		18.37	13.63	32.0	68.00	0	57.41	42.59	1.2808			
P		0.27	24.78	2.99	28.02	71.98	0.96	83.36	10.68	1.2093	NaCl + NaF + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	
		0.23	22.31	6.78	29.28	70.72	0.78	76.19	23.03	1.2336		
	0.23	19.67	11.55	31.45	68.55	0.73	62.55	36.72	1.2673			
	0.23	18.30	13.47	32.00	68.00	0.72	57.18	42.10	1.2785			
	0.32	8.85	22.67	31.84	68.16	1.00	27.80	71.20	1.3043			
	0.33	6.04	34.98	31.35	68.65	1.00	19.26	79.68	1.3115			
	0.33	2.42	28.60	31.35	68.65	1.00	7.72	91.23	1.3326			
	0	18.37	13.63	32.0	68.00	0	57.41	42.59	1.2808			

G.A. Lopatkina Journal of Applied Chem. of the U.S.S.R., 32 2644-50 (1959).

表 2 - 8 Soda Crust 分 析 值

Sampling pt.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> wt.%	NaHCO <sub>3</sub> wt.%	NaCl wt.%	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> wt.%	NaF wt.%	CaCO <sub>3</sub> wt.%	Insol. Mat. in HCl wt.%	T. Moist wt.%
*1								
+2- 0A	27.1	13.7	3.83	0.91	0.60	5.60	18.4	27.7
0B	-	-	-	-	-	-	-	-
1A	34.8	22.2	4.64	2.07	0.97	0.05	0.1 >	35.2
1B	25.6	16.3	3.58	0.36	0.54	3.30	15.3	29.3
2A	35.8	25.4	3.44	3.66	1.17	0.20	0.1	29.6
2B	25.5	14.3	4.17	0.64	0.48	3.30	14.4	32.3
3A	37.5	26.7	3.53	0.61	0.18	0.49	1.2	30.2
3B	31.9	13.0	4.20	0.38	0.39	3.20	14.3	33.7
4A	38.1	24.7	3.27	0.46	0.19	0.31	0.9	31.4
4B	28.6	12.0	3.92	0.31	0.53	2.17	15.3	29.7
+1- 0A	32.3	11.6	4.27	1.10	0.46	4.30	13.2	30.5
0B	28.0	13.0	3.60	0.79	0.38	4.38	16.1	25.4
1A	41.0	23.1	3.01	3.94	1.06	0.28	0.2	27.1
1B	31.1	14.9	4.17	1.03	0.48	2.57	7.8	34.0
2A	39.3	24.3	3.04	1.10	0.34	0.07	0.1	31.9
2B	40.8	26.7	2.67	1.02	0.34	0.12	0.1	28.2
3A	38.8	28.7	2.84	1.66	0.55	0.21	0.1 >	27.0
3B	36.5	26.1	3.52	1.87	0.38	0.14	0.1 >	30.8
4A	32.9	20.5	3.60	8.75	1.91	0.04	0.1 >	34.5
4B	-	-	-	-	-	-	-	-
0- 0A	-	-	-	-	-	-	-	-
0B	-	-	-	-	-	-	-	-
1A	38.8	21.0	4.13	7.32	1.89	0.06	0.1 >	26.8
1B	37.3	24.9	3.78	1.12	0.09	0.22	0.4	31.6
2A	39.0	22.9	4.49	4.87	1.26	0.02	0.1 >	27.1
2B	35.8	23.6	3.88	3.43	1.33	0.07	0.1 >	31.0
3A	37.0	20.3	4.37	3.18	0.85	0.03	0.1	34.5
3B	37.8	20.8	3.28	9.89	2.77	0.03	0.1 >	25.9
4A	-	-	-	-	-	-	-	-
4B	40.6	19.2	3.83	5.58	1.78	0.03	0.1 >	29.2
5A	47.1	11.9	4.69	1.75	0.49	0.03	0.1	34.3
5B	42.2	12.8	4.93	2.42	0.61	0.16	0.2	36.6
-1- 0A	50.6	12.2	3.29	5.06	1.24	0.10	0.1 >	27.6
0B	27.0	11.2	3.34	0.54	0.33	6.47	23.0	22.9
1A	41.3	24.3	3.88	3.10	0.88	0.08	0.05	25.3
1B	39.8	21.7	4.18	1.92	0.50	0.55	2.0	25.6
2A	42.5	18.4	3.57	4.29	1.23	0.06	0.1 >	29.0
2B	37.8	20.1	4.54	3.50	1.00	0.09	0.1 >	32.5
3A	43.5	13.2	5.41	4.67	1.24	0.09	0.1 >	31.4
3B	41.8	21.0	3.08	4.26	1.18	0.07	0.1 >	28.6
4A	40.8	19.3	6.16	3.31	0.97	0.05	0.1 >	29.5
4B	36.1	25.0	5.02	5.51	1.78	0.04	0.1 >	26.9
-2- 0A	41.1	23.3	4.01	6.43	2.41	0.04	0.1 >	22.8
0B	41.8	25.1	4.05	4.01	1.90	0.05	0.1 >	23.2

(表 2 - 8 の続き)

Sampling pt.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> wt.%	NaHCO <sub>3</sub> wt.%	NaCl wt.%	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> wt.%	NaF wt.%	CaCO <sub>3</sub> wt.%	Insol. Mat. in HCl wt.%	T. Moist wt.%
1A	40.2	27.6	3.92	0.96	0.21	0.05	0.1 >	26.5
1B	41.7	27.4	3.27	2.25	1.22	0.08	0.1 >	23.9
2A	42.9	20.7	4.11	3.70	1.43	0.05	0.1 >	27.6
2B	43.2	19.2	4.98	3.64	1.05	0.07	0.1 >	27.7
3A	40.6	26.2	3.87	5.30	1.88	0.02	0.1 >	22.3
3B	39.6	27.0	3.69	2.28	1.00	0.07	0.1 >	26.9
4A	41.3	21.8	4.15	3.84	1.27	0.05	0.1 >	26.2
4B								
M- 1A	43.8	17.2	5.02	3.00	1.08	0.20	0.5	28.6
1B	42.8	16.9	5.08	2.90	0.87	0.27	1.5	29.1
*2								
M- 2A	12.5	2.8	3.13	0.36	0.61	3.39	39.8	23.8
M- 2B	29.0	17.9	1.82	0.21	0.19	2.55	25.0	14.8
M- 4A	59.0	13.5	3.93	3.86	1.62	0.02	0.1	18.1
4B	40.9	28.0	5.57	3.18	1.16	0.04	0.1 >	21.5
M- 5A	37.1	32.9	3.79	0.45	0.37	0.07	0.1 >	25.5

註 \* 1 { A. 表層  
B. 下層

\* 2 M-2 A. 表層泥  
B. 湖底サンプル

表 2 - 9 Brine 分 析 值

Sampling pt. *	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> wt.%	NaHCO <sub>3</sub> wt.%	NaCl wt.%	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> wt.%	NaF wt.%	CaCO <sub>3</sub> wt.%	Insol. Mat. in Water wt.%
+ 2 - 0	18.5	3.2	10.88	0.59	0.19	0.26	4.0
1	19.6	1.7	9.11	0.65	0.24	0.01	0.3
2	20.6	1.6	9.33	0.74	0.29	0.04	1.0
3	17.8	3.3	7.85	2.08	0.30	0.13	2.2
4	17.1	2.4	7.17	1.40	0.52	0.02	0.8
+ 1 - 0	19.8	1.5	11.25	0.63	0.21	0.03	0.1
1	20.0	1.2	11.24	0.65	0.32	0.01	0.2
2	20.6	1.3	10.12	0.79	0.31	0.01	0.2
3	18.0	2.1	8.97	1.18	0.39	0.01	0.2
4	19.0	1.2	9.11	1.07	0.41	0.01	0.2
0 - 1	21.1	1.3	10.14	0.61	0.27	0.11	4.0
2	20.2	1.2	10.92	0.60	0.28	0.01	0.3
3	20.6	1.3	10.27	0.68	0.27	0.01	0.1
4	19.6	1.1	11.61	0.59	0.19	0.01	0.1
- 1 - 0	21.0	1.0	10.74	0.62	0.17	0.09	2.1
1	20.4	0.2	11.86	0.60	0.26	0.01	0.1
2	21.2	0.3	11.12	0.62	0.27	0.01	0.4
3	19.2	0.2	13.12	0.55	0.21	0.01	0.1
4	19.3	0.1	13.12	0.50	0.26	0.01	0.1
- 2 - 0	20.3	1.4	11.23	0.65	0.16	0.01	0.3
1	20.6	1.0	10.48	0.74	0.21	0.01	0.2
2	18.4	1.2	12.52	0.60	0.13	0.02	1.0
3	18.8	0.9	13.02	0.50	0.15	0.01	0.2
4	19.1	0.8	12.92	0.58	0.12	0.01	0.1
M - 1	17.1	0.7	14.63	0.52	0.20	0.01	0.1
M - 3	15.7	1.4	15.29	0.49	0.20	0.01	0.1
M - 3B	23.8	6.0	11.40	1.50	0.62	0.11	1.6
M - 4	16.8	1.5	13.80	0.44	0.20	0.01	0.1
M - 5	20.0	1.6	10.28	0.75	0.29	0.01	0.1

\*: 70cm from lake surface



表 2-10 天然ソーダ (Crus. Brine) 中の微量金属分析結果

ロット	Fe ppm	Ti ppm	K%	V ppm	Mn ppm	Cr ppm	Zn ppm	Ba%	Li ppm	Br%	I%	SiO <sub>2</sub> %	B%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	COD%	NaHCO <sub>3</sub> %	T-水分% (重曹補正)
-1-OB	120	72	0.04	1.1	5	0.3	30	0.04 以下	5 or 以下	0.009	0.003	0.19	0.005	0.02	0.11	24.0	24.4
-2-3B	100	35	0.09	2.4	8	0.2	3	0.04 以下	5 or 以下	0.009	0.002	0.17	0.003	0.02	0.08	26.8	24.7
0-4A	28	25	0.09	1.0	2	0.2	65	0.04 or 以下	5 or 以下	0.011	0.001	0.12	0.005	0.02	0.10	18.3	27.4
M-3A,B	40	29	0.27	1.2	2	0.2	9	0.04 以下	5 or 以下	0.023	0.001	0.15	0.006	0.05	0.08	5.7	27.2
-2-O	50	19	0.29	0.4	0.5 以下	0.09	0.4	0.03 以下	3 or 以下	0.024	0.002	0.10	0.005	0.05	0.04		
-2-3	10	14	0.36	0.3	0.5 以下	0.06	0.3	0.03 以下	3 or 以下	0.029	0.002	0.09	0.011	0.06	0.05		
0-4	3	17	0.27	0.3	0.5 以下	0.06	0.5	0.03 以下	3 or 以下	0.023	0.001	0.07	0.010	0.04	0.04		
M-3	7	18	0.73	0.3 以下	0.7	0.08	0.3	0.03 以下	3 or 以下	0.058	0.002	0.16	0.017	0.12	0.07		

炭酸ソーダ重量

$$159 \times 10^6 \text{ MT} \times 0.687 = 109 \times 10^6 \text{ MT}$$

※クラストの平均組成率を、ドライを  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  に換算した組成比率

(2) ブライン

大部分の地域においてはクラストの下にブラインが存在するが、湖岸近くにはブラインが存在しない部分がある。従ってブラインの存在面積はクラストの80%とした。

ブラインの面積  $370 \text{ km}^2 \times 0.80 = 296 \text{ km}^2$

ブラインの平均の厚み  $35 \text{ cm}$

ブラインの平均比重  $1.3$

ブラインの重量  $296 \text{ km}^2 \times 0.35 \text{ m} \times 1.3 = 134.6 \times 10^6 \text{ t}$

炭酸ソーダ重量  $134.6 \times 10^6 \text{ t} \times 0.201 = 27.0 \times 10^6 \text{ t}$

炭酸ソーダ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) の他に食塩 ( $\text{NaCl}$ )、芒硝 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )、フッ化ソーダ ( $\text{NaF}$ ) の埋蔵量を表 2-11 に示す。

表-11 クラストおよびブラインに含まれる資源量

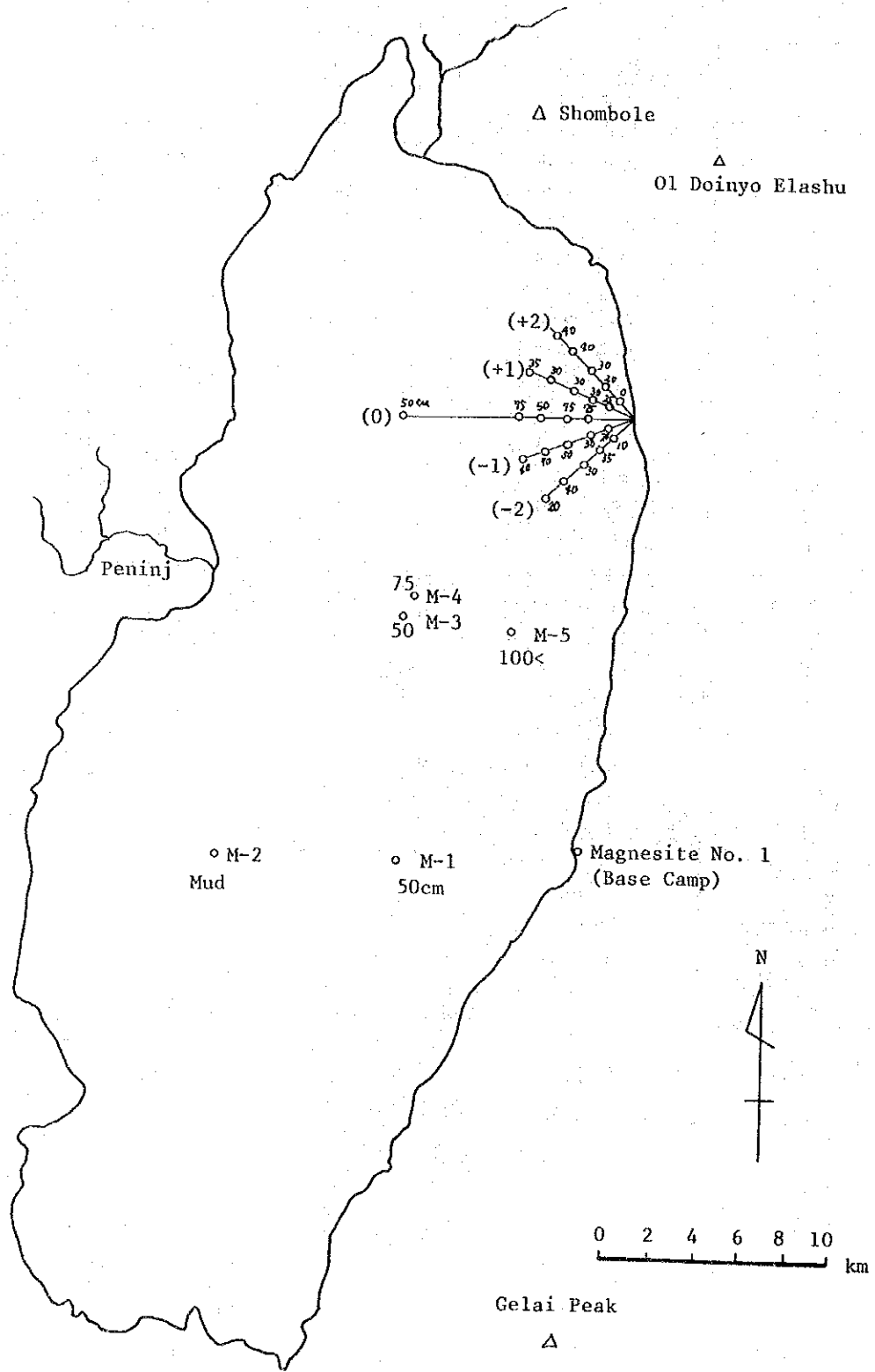
(単位:  $10^6 \text{ t}$ )

	クラスト	ブライン	合計
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	109	27	136
$\text{NaCl}$	8.7	1.5	23.7
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	4.5	0.9	5.4
$\text{NaF}$	2.2	0.3	2.5

表 2 - 1 2 クラストおよびブラインの厚み

Sampling Point		Colour of Crust Surface	Thickness of Crust (cm)	Thickness of Brine (cm)	Depth of Lake (cm)
1	-2-0	Red Brown	10	--	10
2	1	Yellow	35	5	40
3	2	Pink - Yellow	30	30	60
4	3	Pink - Yellow	40	40	80
5	4	Pink - Yellow	20	85 <	105 <
6	-1-0	Pink - Yellow	20	--	20
7	1	Pink - Yellow	30	--	30
8	2	Pink - Yellow	50	--	50
9	3	Pink - Yellow	70	35 <	105 <
10	4	Pink - Yellow	40	55	95
11	0-1	Pink - Yellow	75	--	75
12	2	Pink - Yellow	75	--	75
13	3	Pink - Yellow	50	25	75
14	4	Pink - Yellow	75	20	95
15	5	Pink - Yellow	50	55	105
16	1-0	Pink - Yellow	25	30	45
17	1	Pink - Yellow	30	40	70
18	2	Pink - Yellow	30	45	75
19	3	Pink - Yellow	35	35	65
20	4	Pink - Yellow	35	45	80
21	2-0	Brine	(-)	(25)	(25)
22	1	Pink - Yellow	20	15	35
23	2	Pink - Yellow	30	20	50
24	3	Pink - Yellow	40	40	80
25	4	Pink - Yellow	40	25	65
26	M-1	Pink - Yellow	50	--	--
27	M-2	Mud	(-)	(-)	(0)
28	M-3	Pink - Yellow	40	30	70
29	M-4	Pink - Yellow	75	30 >	105 <
30	M-5	Yellow - Yellow	105 <	--	105 <
Average		Total/n	43.5 (n=28)	34.8 (n=20)	67.2

图 2-11 采样点(和厚度 of Crust Layer)



## 第3章 工場建設地の選定

### 3-1 工場建設地選定の要因

一般的に工場建設地の選定にあたっては、その基準として多くの要因を考慮すべきであるが、ソーダ灰精製プラントのサイト選定の場合にはとくに次の事項を充分考慮すべきである。

#### (1) 輸送手段および輸送コスト

原料であるクラストおよび製品等の輸送手段については別編において詳細に論ずるが、原料（クラスト）も製品（ソーダ灰）も共に化学反応を起しやすい物質であるため輸送手段には充分留意すべきである。さらに、原料と製品との輸送量を比較すれば、製品1 tに対し原料では2 tを輸送する必要がある。これは製品1 tを精製するには、原料2 tを必要とするためである。

#### (2) 工業用水確保の可能性

年間1,000千tのソーダ灰を精製するためには、プロセス水として1日20千tの水が必要である。

#### (3) 環境保全

ナトロン湖から採掘されるクラスト中には、芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}$ )、フッ化ソーダ( $\text{NaF}$ )をはじめ不純物を含んでおり、精製過程における排水・残滓は無処理で排出されるとプラントサイトの環境を破壊するおそれがある。

とくに、フッ化ソーダ( $\text{NaF}$ )中のフッ素は人間の皮膚・呼吸器粘膜を侵す等人体に大きな害を及ぼすものである。したがって、排出物による環境破壊を防止するための処理設備の建設には多額の費用を必要とする。

#### (4) 労働力の確保の可能性

ソーダ灰を年間1,000千t生産する場合に必要な人員は、プラントサイトにおいて、358名と見積られるが、この人員の確保の可能性を考慮すべきである。

### 3-2 工場建設地

精製プラント建設の可能性があると考えられる候補地として次の3地区を抽出し、その各々について前3-1に述べた選定要因を考慮し検討を試みる

- (a) タンガ (Tanga)
- (b) アルーシャ (Arusha)
- (c) ナトロン湖畔

### 3-3 建設地の検討

#### 3-3-1 タンガ

タンガは、タンザニア国における有数の港を有し製品を輸出する場合の製品輸送および精製に用いるエネルギー源としての重油または石炭の輸送には極めて有利である。しかしながら、ソーダ灰を年間1,000千t生産する場合、約460Km離れたナトロン湖から2,000千tのクラストを輸送せねばならない。輸送手段として道路または鉄道あるいはその両方を利用するとしても、製品輸送に比較し原料輸送のコストは極めて高くなることは否定できない。

タンガには肥料工場等もあり、Dar es Salaam, Zanzibarに次ぎ第3位の人口を有している。そのため労働力の確保は容易と考えられる。(男女別年齢別人口構成表3-1)

人口6万を有するタンガに精製プラントを建設する場合には、環境保全のために精製過程において発生する排水・残滓の処理装置を設ける必要があり多大な費用を要するであろう。

#### 3-3-2 アルーンヤ

アルーンヤは人口3万を越す風光明媚な都市でその一帯は115Km<sup>2</sup>にわたり、1970年国立公園に指定され、タンザニア北部の観光基地の一つとして外国観光客の数も多い。

この地にソーダ精製工場を建設する場合には、先ず環境保全に充分留意すべきことは言うまでもない。

さらにこの他には、特記すべき大きな河川がないので、あえて工業用水を確保すれば地下水に依存することとなる。地下水量は、地質調査等によって確認すべきであるが、地下水利用の場合その一帯の農作物や植物に与える悪影響が懸念される。

#### 3-3-3 ナトロン湖畔

ナトロン湖周辺については、前2-1に述べた通り人口は極めて少なく、労働力の確保には問題がある。

しかしながら、原料であるソーダクラストがナトロン湖から採掘されるために、この湖畔にプラントを建設した場合、製品に比較し2倍の輸送量となるクラストを輸送する必要がない。したがって、製品価格に占める輸送コストの比率が大幅に軽減されることになる。

さらに、精製プラントから生ずる排出物は簡単な処理設備を通してナトロン湖に戻すことにより、他の地区の場合に必要な特別の処理設備を設ける必要もなく、周囲の自然環境を破壊することもない。

加えて、ナトロン湖北西部には、ペニンジ川(Penint River)が流入しており、北部にはンガレニロ川(Ngare Nyiro River)が流入しており、両河川共年間を通じ工業用水として利用し得るものと考えられる。

ナトロン湖畔に精製プラントを建設する場合の問題は、生産に従事する十分な労働力が確保で

表 3 - 1 男女別・年令別首要素都市人口

(単位：人)

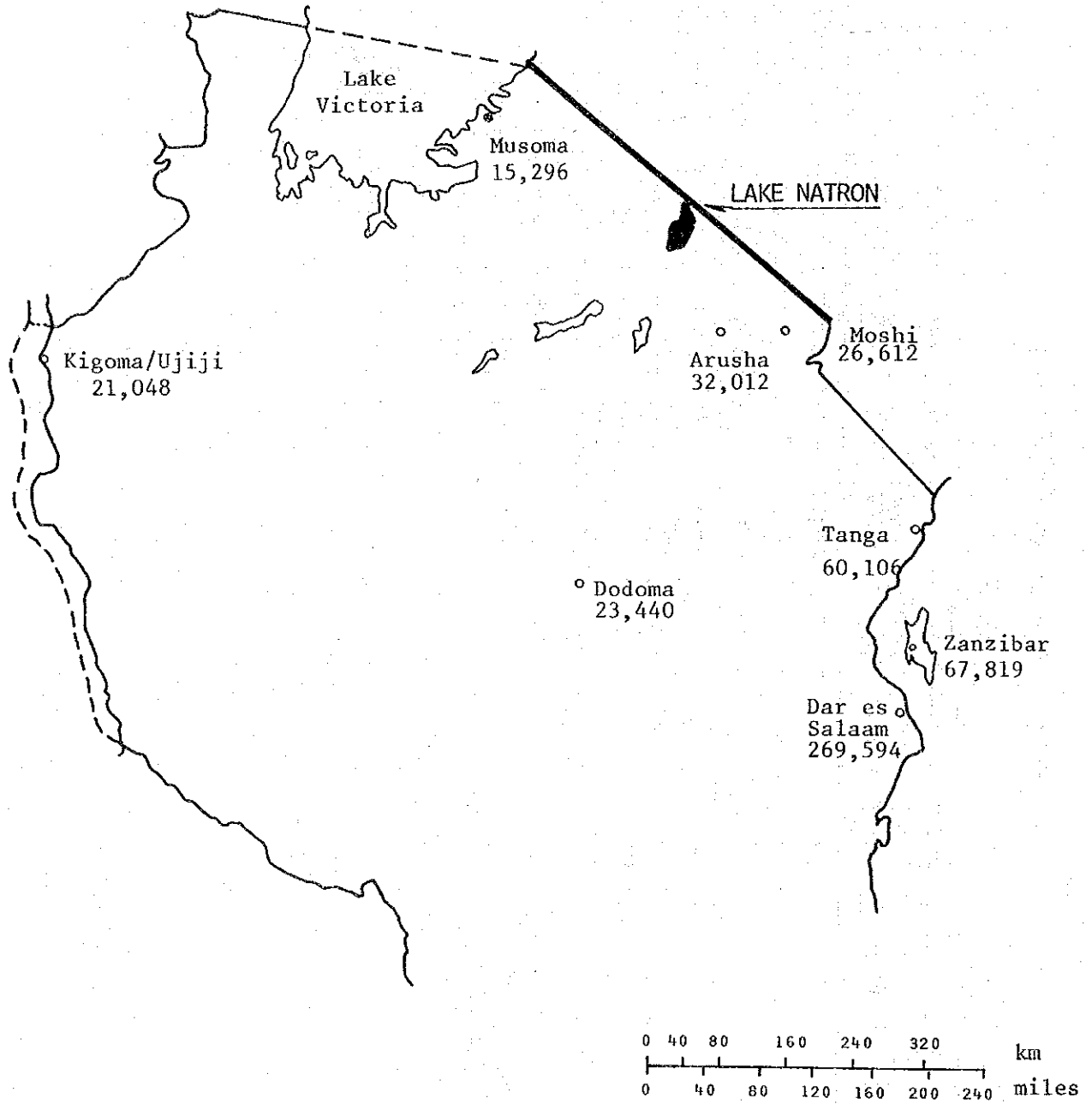
都市名	区分	年令 T計	年令											N.S.					
			0-4	5-9	10-14	15-19	20-34	35-49	50-64	65-									
Dar es Salaam	男	148,547	19,849	14,199	10,208	14,299	52,811	26,186	7,727	3,142									
	女	121,047	20,191	15,411	9,471	13,616	40,157	14,378	4,964	2,784									
	計	269,594	40,040	29,610	19,679	27,915	92,968	40,564	12,691	5,926									201
Tanga	男	32,582	4,508	3,600	2,883	3,360	9,216	5,810	2,152	994									59
	女	27,524	4,518	3,921	2,561	3,007	7,962	3,505	1,338	677									35
	計	60,106	9,026	7,521	5,444	6,367	17,178	9,315	3,490	1,671									94
Arusha	男	18,137	2,742	1,992	1,446	2,176	6,169	2,488	749	346									29
	女	13,875	2,522	1,936	1,206	1,663	4,310	1,468	486	262									22
	計	32,012	5,264	3,928	2,652	3,839	10,479	3,956	1,235	608									51
Moshi	男	14,934	2,149	1,534	1,270	2,137	4,826	2,064	635	271									48
	女	11,678	2,169	1,539	1,001	1,530	3,574	1,206	416	228									15
	計	26,612	4,318	3,073	2,271	3,667	8,400	3,270	1,051	499									63
Musoma	男	7,845	1,218	897	668	747	2,574	1,199	348	175									19
	女	7,451	1,310	1,017	712	962	2,120	746	355	215									14
	計	15,296	2,528	1,914	1,380	1,709	4,694	1,945	703	390									33

(注)

The United Republic of Tanzania 1967 POPULATION CENSUS Volume 2.19

Bureau of Statistics, Ministry of Economic Affairs and Development Planning  
1970年発行

図 3 - 1 タンザニア北部主要都市人口分布図





きにくい点である。したがって、そのためには、タンザニア国内の各都市における余剰労働力の移住措置を講ずると同時に、生産従事者およびその家族のための生活環境の整備が必要となる。

### 3-4 工場建設予定地

#### 3-4-1 建設地の決定

工場建設地として、(a)タンガ(Tanga)(b)アルーシャ(Arusha)および(c)ナトロン湖畔につき検討を試みて来たが、工場建設予定地としては、経済的にも、また社会的にも(c)ナトロン湖畔が最も優れていると考える。

#### 3-4-2 ナトロン湖畔における建設候補地点の決定

ナトロン湖畔のどの地点に精製プラントを建設すべきかについて検討を試みる。

まず建設地点選定にあたり、次の事項を考慮に入れるべきである。すなわち、(a)地形、(b)クラストの採掘地との距離、および(c)工業用水源との距離である。

(1)ナトロン湖西岸には湖に流入するベニンジ川(Peninj River)があり工業用水の入手には極めて有利であるが、ベニンジ川をはさんでその北側はOl Doinyo Sambuの山が湖にせまり、またその南側には、大地溝帯(Great Rift Volley)の断層が切り立っている。したがって、地形的にみて工場建設に必要な広い平坦地が得にくい。

(2)湖の北部は、ンガレニロ川(Ngare Nyiro River)が流入し工業用水の入手は容易であるが、Shombole山が湖岸にあり、北部湖面は泥の堆積とラグーンが広がっているため、クラスト採掘地としては不適當な部分と考えられる。したがって、予定される採掘地との距離が遠く、クラストの輸送が困難である。

(3)湖の南岸は平坦地はあるが、湖面には泥の堆積とラグーンが広くクラスト採掘予定地との距離が大きすぎる。また附近に工業用水源となり得る河川もない。

(4)湖の東側南部は、Gelai山の山麓になだらかな平坦地はあるものの工業用水源がなく、泥・ラグーンも比較的多く見られクラスト採掘予定地との距離が問題となる。

(5)湖の東側北部の地形は、階段状の断層が続いており、工場用地に必要な平坦地は充分得られる。さらに後に述べるが、この地点に近い湖面のクラストは比較的厚くその採掘も他の地点に比べ容易であり、クラストの輸送も容易となる。

ただし、工業用水入手源が附近に無く、その入手は、ベニンジ川(Peninj River)あるいはンガレニロ川(Ngare Nyiro River)に依存せざるを得ず、入手のためには、パイプラインの布設等の手段を講ずることが必要である。

以上、ナトロン湖畔における精製プラントの建設候補地を検討してきたが、総合的に判断し、

ナトロン湖東岸や、北部の階段状断層の平坦地の上にプラントを建設することが最も望ましい。建設予定地を図 3-2 に示す。

### 3-5 クラスト採掘予定地

採掘予定地の選定にあたって、図 3-3 に示される湖面のクラスト分布状況のうち、泥の堆積部分とラグーン部分は、採掘適地とは考えられずいずれも除外し、湖面に見られるクラストの部分のうちから採掘適地を選定した。

なお、湖底あるいは湖岸地表下に別のクラスト層が存在することも考えられ、そのクラスト層の存在地点いかによって、より適当な採掘地点が選定され得るが、今回の調査においては、ボーリング等による湖底あるいは湖岸地表下のクラスト層発見のための調査を実施し得なかつたので、表面に現われているクラスト部分から採掘地を選定した。

採掘コストの点で、採掘されるべきクラストは厚い程有利であり、炭酸ソーダ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) の含有量が多い程有利であることは当然である。そのため、クラストの厚みを測定し、またクラストの組成分析を行った。それぞれの結果については表 2-8 に示す通りであるが、クラストの厚みは場所により異なるものの、炭酸ソーダ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) の含有量については問題にすべき程の差はないと言える。

したがって、クラストの厚みのみから判断すればペニンジ川 (Peninj River) の河口より真東へ進んだ湖中央地点から東岸寄り一帯が最も優れた地点と考えられる。

この地点は、先に述べた湖東岸の精製プラント建設予定地との距離も比較的近く、クラストの輸送も容易でかつその輸送コストの点でも有利と考える

### 3-6 原料クラストのパイプライン輸送の可能性

ソーダ灰の精製プラントをアルーシャ (Arusha) 等のクラスト採掘地より遠距離の地に建設した場合、原料クラストをパイプラインによる遠距離輸送の可能性について検討する。

クラストをパイプラインで輸送する場合、ブラインとクラストとを混合してスラリー状にする必要がある。そのときのブラインとクラストの混合比率は 7 : 3 程度が最も望ましいと考えられる。したがって、クラスト 1 t を輸送するためには、約 3 倍のスラリーを輸送しなければならず輸送効率の点で効果的な輸送手段かどうか疑わしい。

ナトロン湖から採掘されるクラストは軟かく破壊されやすいため、輸送途中でクラストは微細化し泥状となり、粘度が上昇する。ナトロン湖から採取したブラインとクラストを混合して攪拌した時のスラリー粘度の経時変化を調べてみると、表 3-2 に示す通り 2 時間後の粘度は、458 センチポイズ (C.P.) と高くなる。この点からも、ソーダクラストのスラリー輸送は、

図 3 - 2 ナトロン湖畔における工場建設予定地図

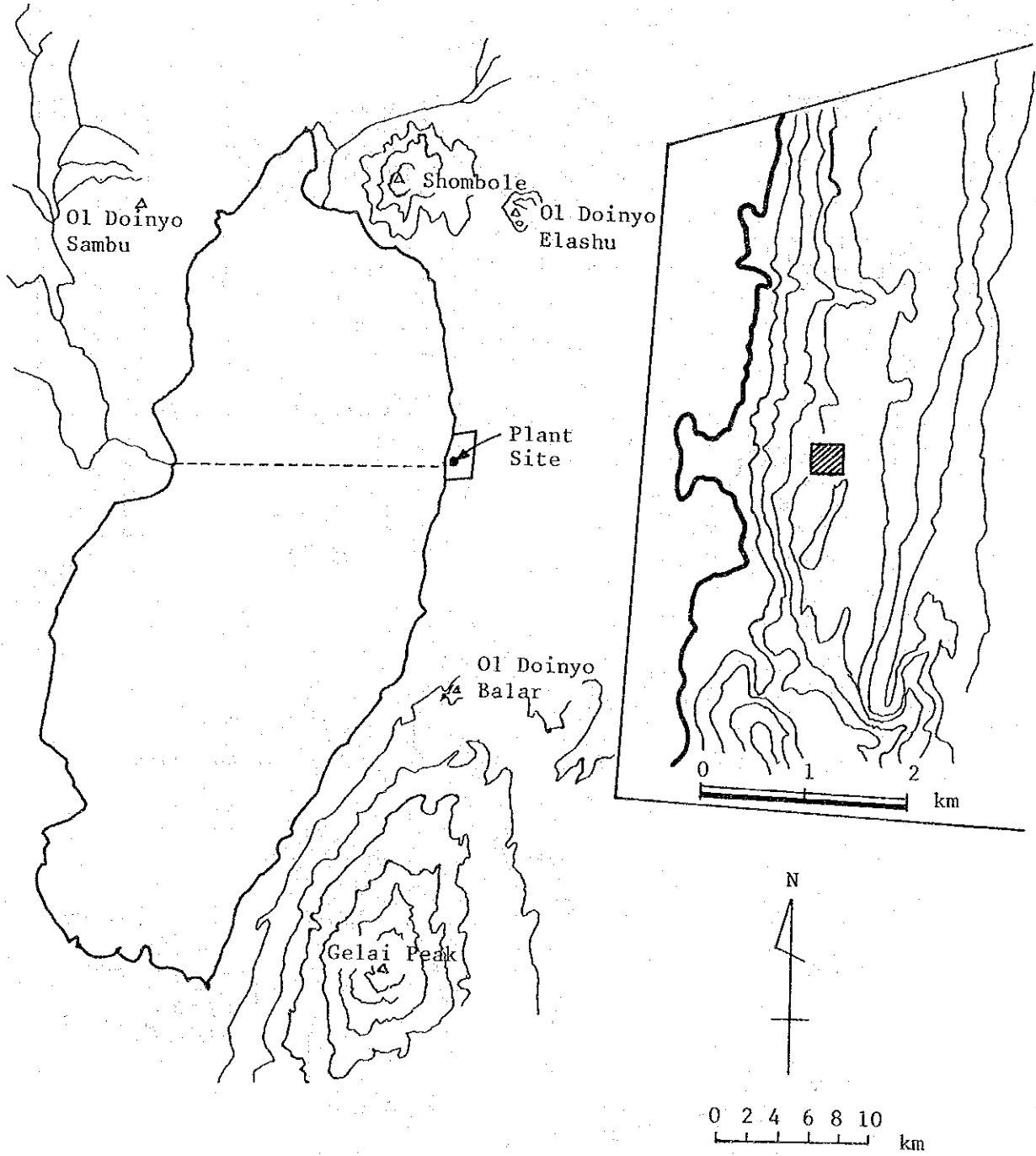
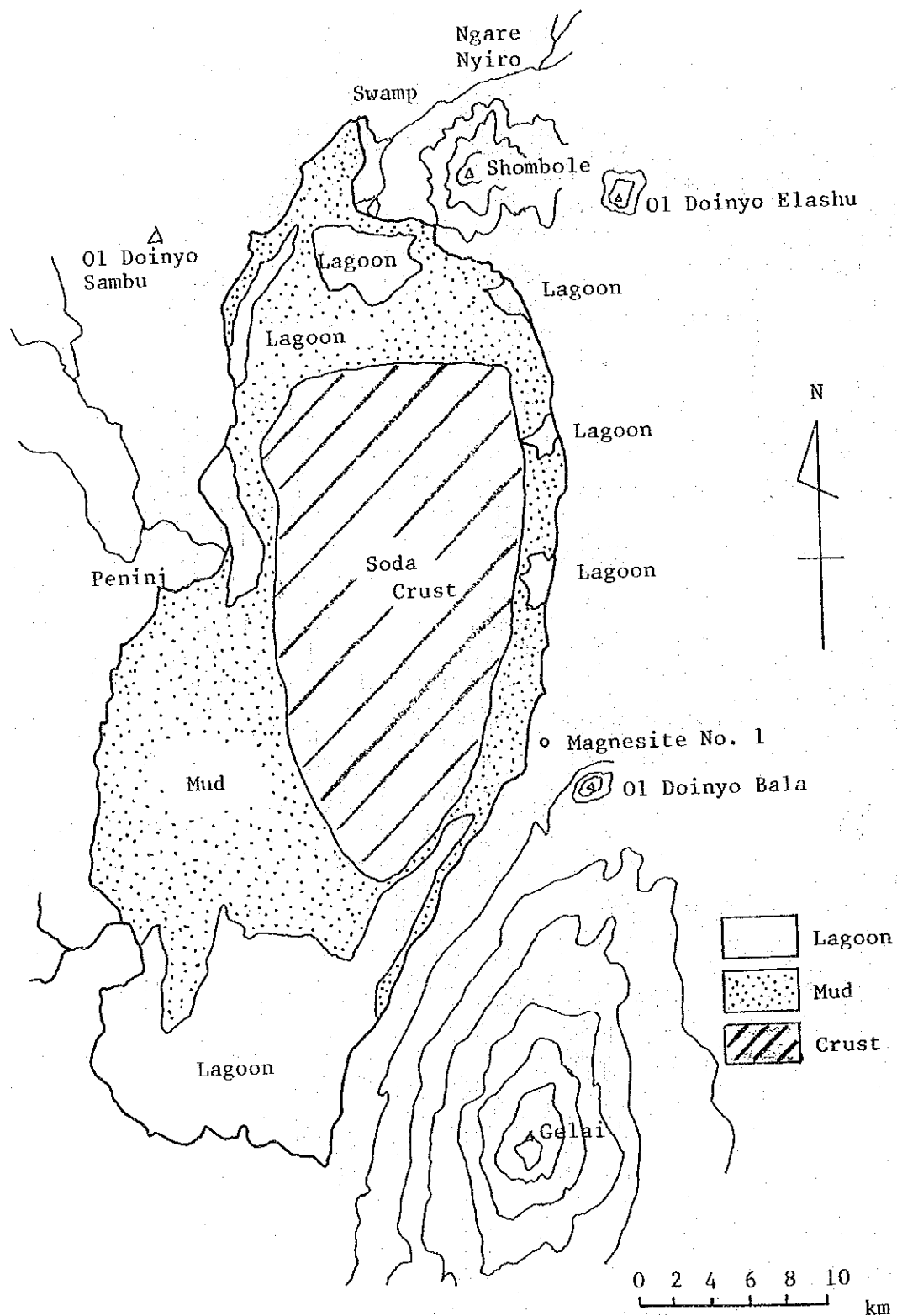


図 3-3 ナトロン湖ソーダクラスト分布図



石炭と水のスラリー輸送などの場合とは異なり、電力消費量が莫大となり、不経済となる。

表 3 - 2 スラリー粘度の測定例

	ソーダクラストと ブライン C. P.	セスキ炭酸ソーダと 炭酸ソーダ飽和水溶液	石 炭 と 水
原 液 粘 度	6.28	2.42 C. P.	1.00 C. P.
0分	7.67	3.42	1.00
20分	—	—	1.35
30分	4.0	1.37	—
40分	—	—	1.56
60分	7.9	1.52	1.96
90分	2.38	1.55	—
120分	4.58	1.63	—



## 第4章 工場設計

### 4-1 クラストの採掘

#### 4-1-1 採掘開始地点

クラストの採掘は、図4-1に示す通り、工場建設予定地の対岸にあるペニンジ川 (Peninj River) からの取水用パイプラインの南側で、湖岸より4Kmの地点から開始する。

#### 4-1-2 採掘量と採掘面積

ソーダクラストの平均厚さを40cmとし、その見掛比重を1.0、原単位2.0t稼働日数年間300日として、ソーダ灰を250千t/y 500千t/y 1,000千t/yそれぞれ生産する場合に必要なクラストの採掘量とその採掘面積を試算すると表4-1、表4-2の通りとなる。

表4-1 クラストの採掘量 (単位:千t)

ソーダ灰の生産規模	年間採掘量	月間採掘量	1日当り採掘量
年間 250 千t	500	42	1.7
年間 500 千t	1,000	83	3.3
年間 1,000 千t	2,000	167	6.7

表4-2 採掘面積 (単位:千m<sup>2</sup>)

ソーダ灰の生産規模	年間採掘面積	月間採掘面積	1日当り採掘面積
年間 250 千t	1,250	104	4.2
年間 500 千t	2,500	208	8.3
年間 1,000 千t	5,000	417	16.7

採掘面積を図4-1に示す。

#### 4-1-3 採掘方法

ナトロン湖のソーダクラストを採掘する場合に考えられる採掘方法を検討する。

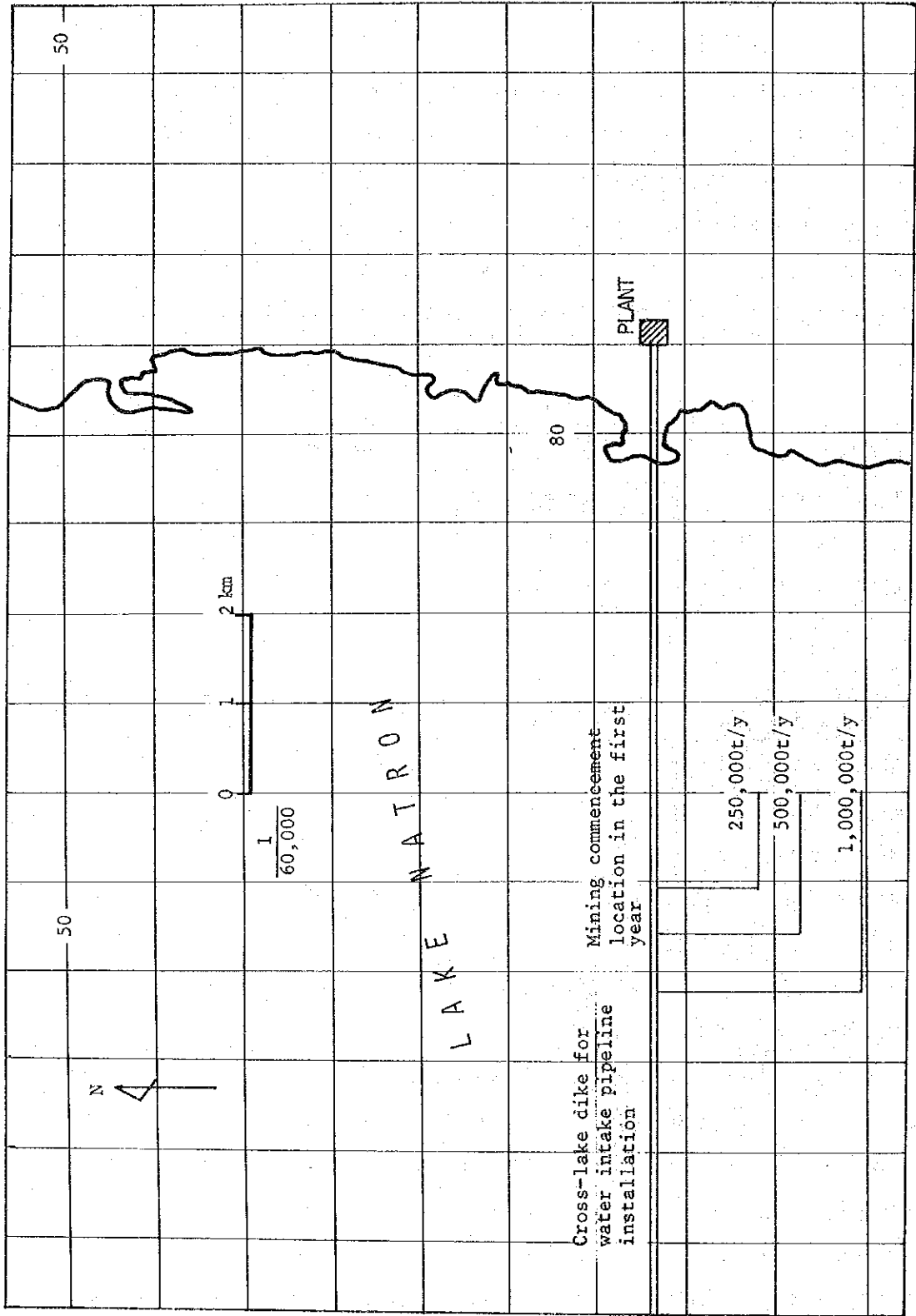
##### (1) Dredger 工法

この方法は現在マガジ湖 (Lake Magadi) において採用されている方法である。この方法をそのままナトロン湖に採用することはむづかしく若干手直しを行うべきである。

Dredger 工法では、バケット式浚渫船を用いて採掘したクラストを、振動篩で粗粒物と細粒物に分類し、粗粒物はクラッシャーで粉碎し、さらに細粒物と混合し、それにソーダブラインを加えてスラリー状にしてパイプ輸送する。ナトロン湖の場合は、プラントから西方へ延びる工業用水の取水用パイプラインと並行し道路上に固定する。一方、南北方向へ延びるパイプ

図 4-1 クラスト採掘開始地点および採掘面積

Fig. 4-1 Mining Commencement Location and Area





インは湖上に浮べ移動可能な状態にしておく。ソーダスラリーは、湖岸に設けた狐状篩に送られ、クラストとブラインを別け、クラストはベルトコンベアにより貯鉱場に運び、ブラインはパイプにて湖へ戻す。

この方法は、クラストの層が厚く、したがって、浚渫船の移動が少なくすむ場合、さらにまた、水深が深い場合には最も適した方法と言える。しかし、ナトロン湖の場合は水深が1 m内外と比較的浅いため浚渫船を浮べることは困難である。さらにクラスト層が薄いため1日当りの採掘面積は830 m<sup>2</sup> (ソーダ灰生産500千t/日の場合)と広範囲になるため浚渫船は機動性が必要とされる。

このように、ナトロン湖においてこのDredger工法を採用するためには、水陸両用の浚渫船でかつ機動性に富むものを開発すべきである。

## (2) Cut&Pull 工法

この方法は、ソーダクラストを一定の区画に切断し、ソーダブラインの上に浮遊した状態にする。このクラストを、湖を横断する取水配管用堤まで引寄せ、クレーンで水切りを行なった上、ベルトコンベアかまたは、ダンプトラック等によって湖岸の貯鉱場まで運搬する方法である。この場合、配管用堤はその幅員、および強度について考慮して設計しなければならない。

この方法は、クラスト層の薄いナトロン湖においては比較的採用されやすい。

## (3) Dry工法

このDry工法は、土砂等により湖を一定区画に仕切り、その外部からの河川水、温泉水の流入を防いだり、太陽熱によりソーダブラインを蒸発させる。太陽熱だけでブラインの蒸発が不十分な場合にはポンプにより区画外に汲み出して乾燥を早めることも可能である。このようにして乾燥したクラストを陸上採掘機械により、ベルトコンベアにより湖岸の貯鉱所へ運ぶ。しかし、この方法は、気象条件により採掘の能率が大きく左右される欠点を持つ。

(4) 今後、長期的な気象観測、蒸発テスト、ボーリング探査、物理探査等を実施することにより、ナトロン湖周辺の気象条件を把握し湖の水深、湖底の状態および地下におけるソーダクラスト層の有無等を明確にする必要がある。これらの調査結果によって、最も効果的な採掘場所および採掘方法が見い出されよう。

今回の調査における建設費用・製造コストの算定には、Dredger工法を採用した。

## 4-2 ソーダ灰精製プロセス

### 4-2-1 天然ソーダ灰精製プロセス

ナトロン湖におけるソーダクラストからソーダ灰を精製するためのプロセスを検討するに先立ち、すでに、アメリカおよびケニアで企業化されている天然ソーダ灰の精製プロセスについ

て概略説明する。

(1) アメリカ天然ソーダ灰の精製工程

アメリカのワイオミング州グリーンリバーで行われているソーダ灰の製造工程は次の通りである。

地下数百メートルで坑道掘されたトロナの原鉱は、8～10%の水不溶解分を含む外は比較的純度の高いトロナ分で組成されている。その組成例を表4-3に示す。

表4-3 アメリカ・グリーンリバーにおけるトロナ原鉱の組成例

トロナ分 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	91.2	%
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.009	
$\text{NaCl}$	0.16	
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0.12	
水不溶解分	8.48	

地下で採掘され搬出されたトロナ鉱石を粗砕して、500～600℃で煨焼する。これは原鉱中に含まれる有機物を燃焼除去し、トロナ分を熱分解してソーダ灰組成にするためである。煨焼されたものを水に溶解し、不溶解分を沈降分離したのち炉過し、さらに活性炭処理を行なう。これまでの工程でトロナ原鉱に含まれる有機物と不溶解分をほぼ完全に除去する。精製されたソーダ灰の水溶液を蒸発結晶罐で濃縮結晶化し、一水塩結晶を折出させて、遠心分離機で分離洗滌しドライヤーで乾燥する。乾燥機から出てきたソーダ灰を篩分けして製品とする。このようにして精製されたソーダ灰の純度は99.8%と高く、良質のものである。その品質例は表4-4のとおりである。また、精製工程は図4-2に示す。

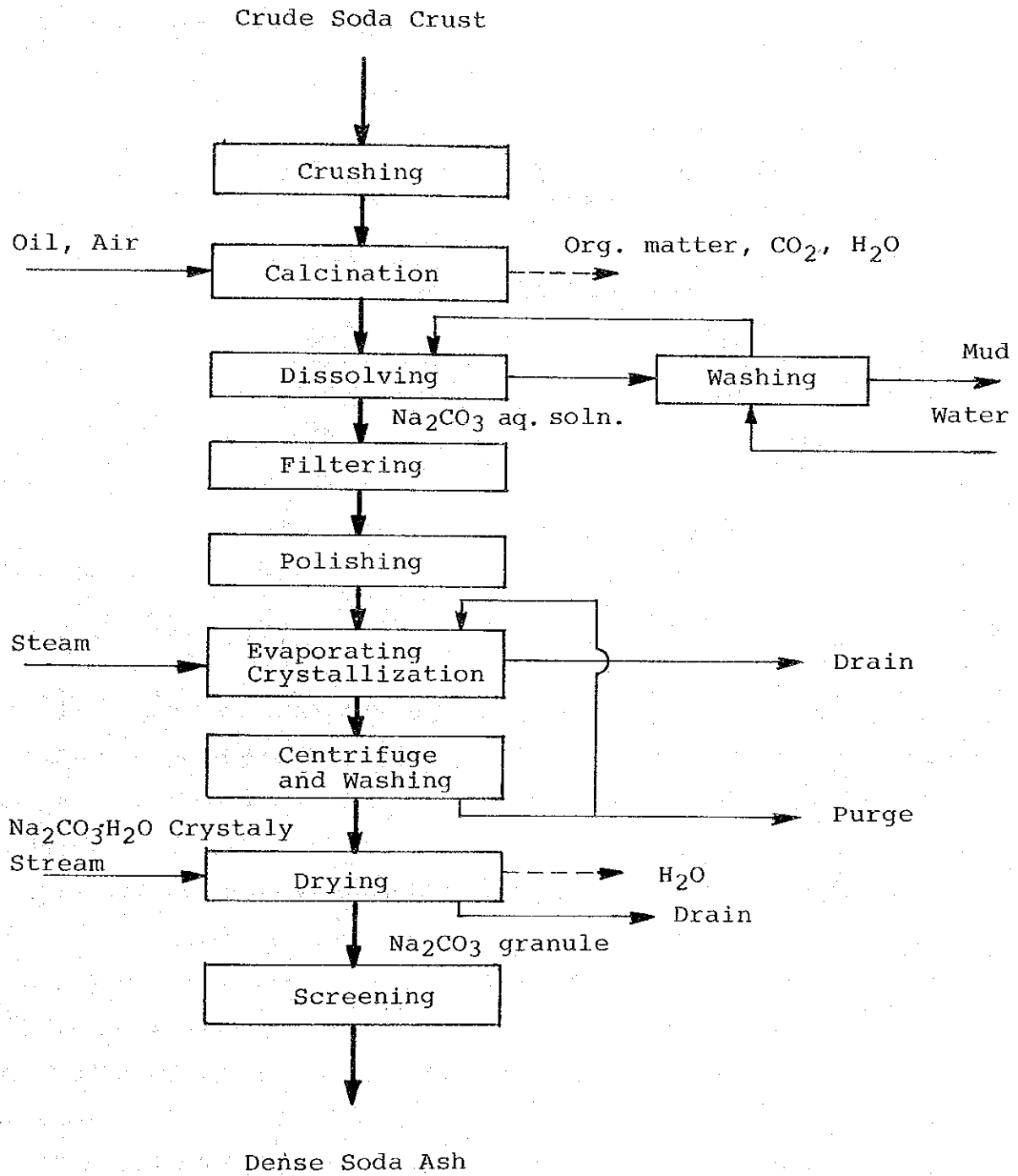
表4-4 アメリカグリーンリバーの天然ソーダ灰の品質例

$\text{Na}_2\text{CO}_3$	99.8	%
$\text{NaHCO}_3$	—	
$\text{NaCl}$	0.02	
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0.02	
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.0005	
$\text{NaF}$	0.00	
水不溶解分	0.00	

(2) ケニア・マガジ天然ソーダ灰の精製工程

マガジ湖の湖面から、主としてトロナからなる原鉱を浚渫船で採掘する。浚渫船はブラインの上に浮び、適宜トロナを掘るに適した地点へ動かされる。

図 4-2 トロナソーダ灰精製工程



浚渫船で採掘された原鉱は、粉砕機で小さい塊に粗砕されブラインでスラリー状として湖岸の工場へパイプ輸送される。工場では、搬入されて来たスラリーを沓過し、付着した泥や食塩分を洗滌分離する。次に、分離洗滌した原鉱を煨焼炉で煨焼し、原鉱に含まれる有機物を除去し、トロナ分を熱分解してソーダ灰とする。

このようにして精製されたソーダ灰の純度は97%程度といわれ、合成ソーダ灰やアメリカの天然ソーダ灰に比較し純分が低い、さらにフッ化ソーダ(NaF)を約1%含有しており品質面での問題点とされている。その品質例は表4-5のとおりである。

その精製工程は図4-3に示す。

表4-5 ケニア・マガジ天然ソーダ灰の品質例

$\text{Na}_2\text{CO}_3$	97.1	%
$\text{NaHCO}_3$	0.05	
$\text{NaCl}$	0.8	
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0.40	
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.035	
$\text{NaF}$	1.28	
水不溶解分	0.4	

#### 4-2-2 ナトロン湖天然ソーダ灰精製プロセス設計の基本概念

ナトロン湖に存在するソーダクラストからソーダ灰を精製するためのプロセスを設計するにあたり、基本的に次の事項を考慮した。

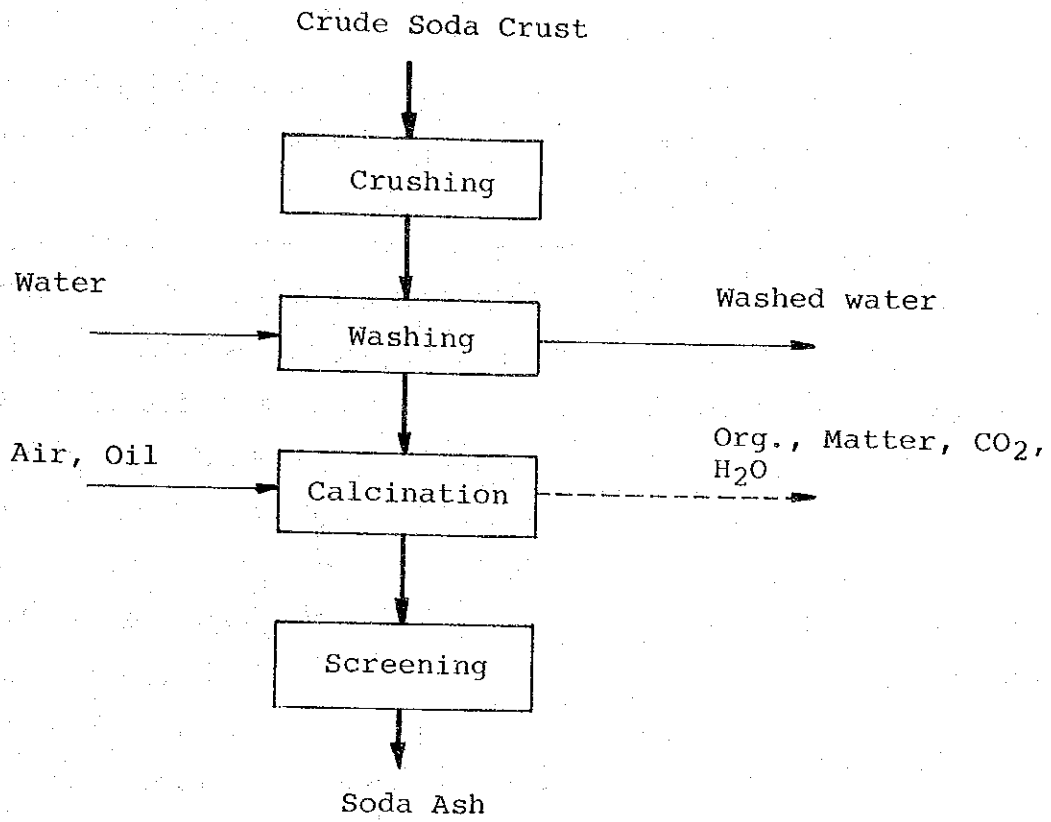
##### (1) 製品の品質

ナトロン湖のソーダクラストは、ピンク色や黄褐色をした有機物を含み、また、フッ化ソーダ(NaF)、芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )、食塩(NaCl)、重金属、水不溶解分等を含んでいる。しかも、採掘の時には、湖底の泥やブラインを同伴することは避け難い。年間250千t、500千t、あるいは1000千tもの大量のソーダ灰の市場を世界に求めるためには、合成ソーダ灰あるいはアメリカの天然ソーダ灰に近い品質まで精製しなければならない。したがって、これらの不純物を除去するための工程を省略することはできない。

とくに、ソーダ灰利用産業における環境保全の観点から、フッ化ソーダ(NaF)を多く含むソーダ灰の利用は強く規制されており、ソーダクラスト中のNaFを除去するための工程は必要欠くべからざるものである。しかしながら、このNaFの除去は、技術的に非常に難しく、未だ工業化された例はない。

天然ソーダ灰の精製法に関し、1973年12月以来、日本の東洋曹達工業株式会社( TOYO SODA MANUFACTURING CO. LTD. )によってその研究が継続されてきた。その

図 4-3 マガジソーダ灰精製工程



研究結果に基づきナトロン湖ソーダ灰の精製プロセスの設計を検討する。

### (2) 環境保全

精製プラント建設地周辺の環境保全につとめ、居住者および動植物に対し悪影響を及ぼさないよう注意を払う。具体的には、カルサイナー、ドライヤー、ソーダ灰篩から粉塵が飛散することを防止するとともに、プラントからの排水は一旦沈澱池によつて残滓を沈澱させた後、ソーダ分の希薄な水溶液のみを湖に返すようにして、プラントの建設予定地周辺の環境保全に努める。

### (3) 副産物

ナトロン湖のソーダクラストには、芒硝 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) およびフッ化ソーダ ( $\text{NaF}$ ) が各々 2.80 w% 1.37 w% 含まれており、またソーダブラインには食塩 ( $\text{NaCl}$ ) が 11.2 w% 含まれている。これら含有物質を副産物として回収することは、理論的には可能性はあると思われるが、高純度の品質をもつた商品価値のある副産物として生産するためには、極めて多額の費用を投入する必要があると考えられるので、経済的には好ましくないと思われる。すなわち、ソーダクラストから、芒硝、フッ化ソーダあるいは食塩を商品として生産することは、ソーダ灰プロジェクトを助ける要因とはなり得えないであろう。

したがって、ソーダ灰の精製プロセスを検討するにあたっては、副産物の回収プロセスについての検討は除外する。

### 4-2-3 プロセス設計の前提条件

ナトロン湖の天然ソーダクラストからデンスソーダ灰を精製するためのプロセスを設計するための前提条件は次の通りである。

#### (1) 生産能力

デンスソーダ灰の年間生産能力は、500千tをベースとし、さらに1,000千tまで拡大しうる形態とした。年産250千tの場合も考慮に入れた。

#### (2) 稼働日数

設備のメンテナンスの必要もあり、また偶発的な故障も考慮に入れると、年間365日フルに稼働することは不可能と考えられる。したがって、メンテナンスや偶発的な故障に対処するためにスペアパーツを備え、修理工場を設けるとともに、発電プラントには保安電源設備を設置して稼働日数を増やす工夫をしたうえで、なお年間300日稼働とする。また、昼夜連続稼働とする。

#### (3) 粗原料組成

ナトロン湖から採掘されて貯蔵所に山積されたソーダクラストには25 wt% (湿潤ベース) のブラインが付着しているものとし、クラストとブラインの組成は各々以下のように設定した。

○ ソーダクラスト組成 (ドライベース)

$\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	6 2.0 8 wt%
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2 8.1 6
$\text{NaCl}$	0.5 1
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	3.0 3
$\text{NaF}$	1.1 3
Mud	5.1 0

○ ブライン組成

$\text{Na}_2\text{CO}_3$	2 0.0 0 wt%
$\text{NaCl}$	1 3.0 1
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0.8 0
$\text{NaF}$	0.4 1
$\text{H}_2\text{O}$	6 5.7 8

4-2-4 ソーダ灰精製プロセス

精製プロセスのフローシートを図4-4, および図4-5に示す。以下プロセスの概要を説明する。

(1) 洗浄工程 (Washing)

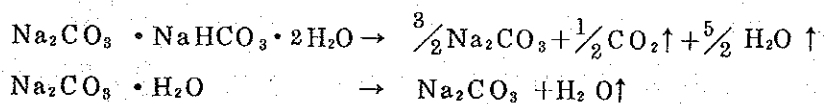
ナトロン湖から採掘されたソーダクラストは貯蔵所に山積され、ここからベルトコンベアで洗浄工程に送り込まれる。

ソーダクラストに付着している食塩 ( $\text{NaCl}$ ) の大部分とクラストに含有される芒硝 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) フッ化ソーダ ( $\text{NaF}$ ) の一部およびクラストに同伴される泥の一部を除去するために、二段のスパイラル洗浄機に送られ、そこでソーダクラストは洗浄される。

(2) 煨焼工程 (Calcination)

洗浄されたクラストは、カルサイナーに送られるが、その前に、カルサイナーの熱効率をあげるために、遠心分離機に送られ、付着水が除去される。その後定量的にカルサイナーに供給される。

カルサイナーでは、ソーダクラストに重油を燃焼して生じた熱を直接加えることによって、次式で示す化学反応が生じる。



すなわち、セスキ炭酸ソーダ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) は  $200 \sim 350^\circ\text{C}$  で、また炭酸ソーダー水塩 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) は  $60 \sim 100^\circ\text{C}$  で、各々分解して無水炭酸ソーダ

( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) に転化する。クラスト中に含まれる有機物は  $400 \sim 800^\circ\text{C}$  で分解する。 $800^\circ\text{C}$  以上になると炭酸ソーダ自体が熔融しはじめるので、煅焼温度としては、 $500 \sim 600^\circ\text{C}$  が適当である。この温度であつても大部分の有機物は除去される。

カルサイナーから排出されるガスの中には、炭酸ソーダの微粉が含まれるので、マルチサイクロンとスクラバーで除塵したのち、アフターバーニングして外気へ放出しなければならない。カルサイナーから出た粗炭酸ソーダは約  $600^\circ\text{C}$  の高温であるため、ロータリークーラー内で燃焼用空気で顕熱を回収しつつ約  $200^\circ\text{C}$  まで冷却されホッパーに貯蔵される。

### (3) 溶解工程 (Dissolving)

ホッパーから定量的に溶解槽に供給される粗ソーダ灰は、プロセス水に溶解され、粗ソーダ溶液となり、不溶解性のMudを第一セッターで重力分離し、上澄液だけが薬剤処理槽に送られる。第一セッターの底部から排出されるMudのスラリー中には、なお粗炭酸ソーダが含まれているので、これを回収するために、そのスラリーを第二セッターに送り、そこでプロセス水で洗浄する。ここで回収された粗ソーダ分は希薄なソーダ水溶液として再度溶解槽に戻され新しくホッパーから供給される粗ソーダを溶解するためのプロセス水となる。

ソーダ成分が非常に少なくなったMudのスラリーは沈澱池に送られる。

### (4) 精製工程 (Purification)

粗ソーダ液中に含まれているフッ化ソーダ ( $\text{NaF}$ ) や重金属等の不純物を除去するために、薬剤処理槽に薬剤を添加して一定時間攪拌を行い、第三のセッター、真空濾過機、圧濾過機で薬剤やフッ化ソーダを含むMudが除去される。これからのMudもクラストの洗浄廃水等で希釈してポンプで沈澱池に送られるが、沈澱池ではMud等の固体を重力沈降させたのち、上澄のみが湖に放出される。

なお、Mudが除去されたソーダ液の中にはカルサイナーで除去できずに残存した有機物が含まれているのでそれを除くためソーダ液は活性炭吸着塔へ送られる。その後、晶析槽に供給される。

### (5) 晶析工程 (Crystallization)

晶析槽のタイプは、三重効用蒸発晶析槽で、槽内のスラリーは、外部に取付けられた熱交換器との間をポンプで強制循環させられており、各槽内は、第三晶析槽から発生する蒸気をバロメトリックコンデンサーで凝縮し、さらに非凝縮蒸気をスチームエ젝ターで吸引することによって真空状態に保たれる。バロメトリックコンデンサーで用いられる冷却水は、冷水塔との間をリサイクルしており、蒸発ロスと不純物の蓄積を防ぐためのブローダウンロスに相当する量だけメイクアップされ、プロセス水の使用量は最少限におさえられる。

第一晶析槽内は、温度  $100^\circ\text{C}$  圧力  $648 \text{ Torr}$  の状態に保持されており、熱交換器に約



117°C の蒸気を供給することによって、ソーダ水溶液から水を蒸発しながら炭酸ソーダ水塩の結晶が析出している。蒸気は動力プラントから10  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  G, 190°Cで供給されるものを減圧減温したものと、乾燥機のドレンから回収したものが用いられる。

第二晶析内は温度77°C, 圧力265 Torr の状態に保たれ、第一晶析槽で発生した蒸気を熱源として同晶析槽から供給されるソーダスラリーから結晶が析出している。

第三晶析槽内は温度50°C, 圧力77 Torr に保たれ、ここでも前の晶析槽から発生する蒸気で結晶が析出している。このように熱量は有効に利用される。

晶析操作において、晶析槽に供給されるソーダ水溶液をすべて結晶化すると結晶中のフッ化ソーダ (NaF) の含有量が多くなるので、供給されるソーダの結晶化率を適当におさえることが必要である。それによって結晶中のNaFの含有量を少くし、母液中にNaFを濃縮するよう操作されなければならない。

次に炭酸ソーダ水塩の結晶と母液は、遠心分離機によって分離され、母液の大部分は粗ソーダ溶解槽にフィードバックされて再度脱フッ素などの精製工程を経て再度、晶析工程に供給されるが、残った母液は芒硝 (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) や食塩 (NaCl) などが系内に蓄積することを防ぐために、系外に排出される。

また、晶析槽内で結晶化率を下げ、母液のリサイクル量を多くすると結晶のNaF含有量をもっと下げることが可能であるが、あまりリサイクル量を多くすることは経済的ではない。

製品規格の点から、デンスソーダ灰の粒径がほぼ100~600ミクロンの範囲にそろうように、晶析槽の操作に工夫が払われなければならない。

#### (6) 分離洗浄工程 (Centrifuge & Washing)

炭酸ソーダ水塩の結晶には、食塩 (NaCl), フッ化ソーダ (NaF) および芒硝 (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) が付着しているので、これらを除去するために遠心分離機において分離洗浄される。

#### (7) 乾燥工程 (Drying)

水洗された炭酸ソーダ水塩の結晶は、乾燥機に送られる。乾燥機はスチームチューブドライヤーと称し、内部に加熱管束を有する円筒形のシエルであり、シエルは約1/100の勾配で設置され、モーター駆動により6~7 r.p.m.で回転している。スチームチューブドライヤーの内部に供給された炭酸ソーダ水塩の結晶は乾燥しながらラセン運動をくり返して出口の方向に移動する。乾燥するにともない付着水や結晶水が水蒸気として発生するので、ファンで吸引して乾燥機の外部に放出させる。

加熱管に供給される蒸気が凝縮して生成したドレンの温度は、約180°Cと高いため、これからフラッシュタンクで、晶析槽に使用可能な124°Cの低圧蒸気が回収され、残ったドレンは動力プラントにフィードバックされる。

(8) 篩分け工程 (Screening)

乾燥機から出た精製デンスソーダ灰は粒子をそろえるため篩機にかけられ、製品としてサイロに貯蔵される。この工程ではソーダ灰の粉塵が周囲に飛散しやすいので、これをファンで吸引して作業環境をよくする努力がなされなければならない。

図 4-4 ナロンソーダ灰精製フローシート

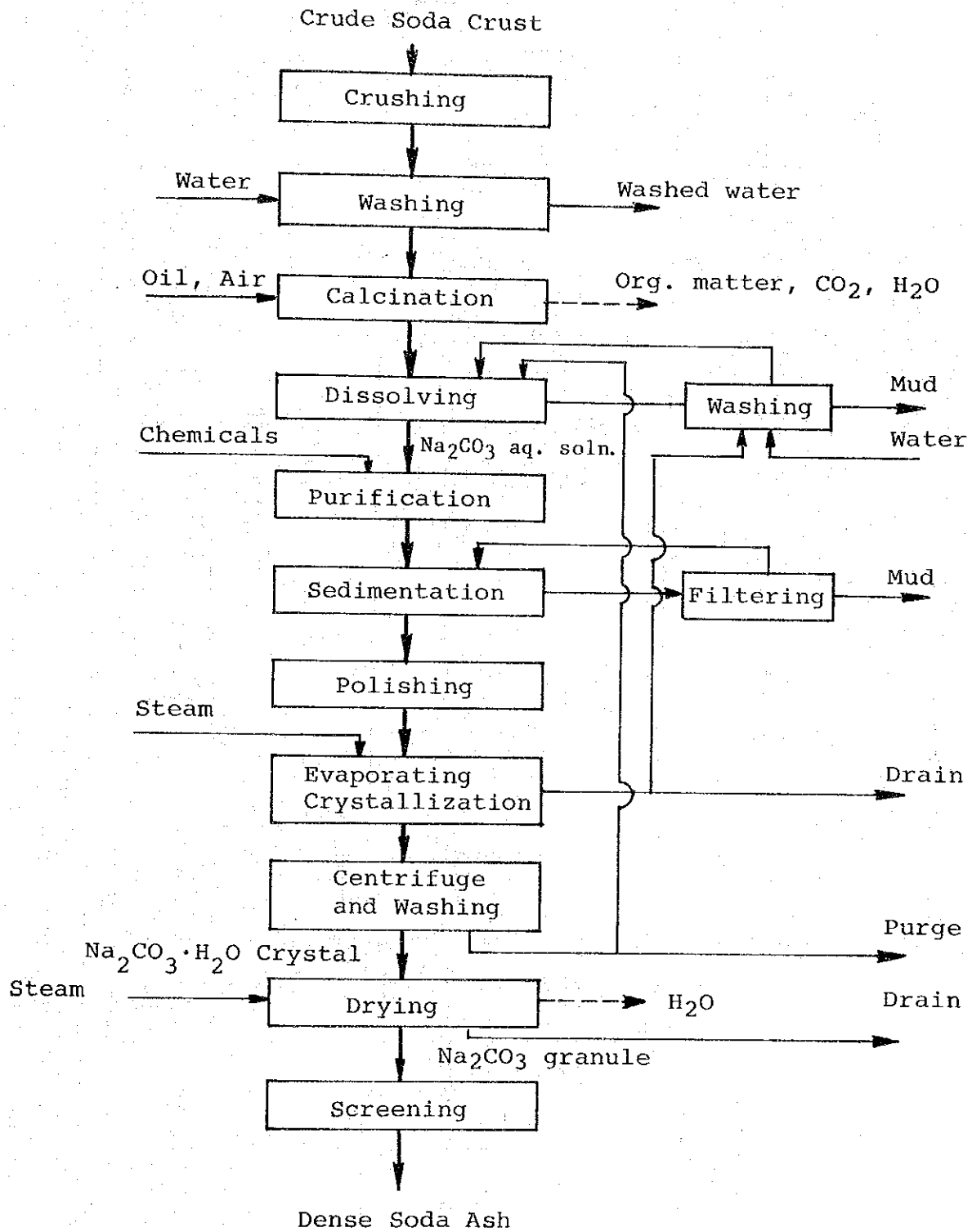
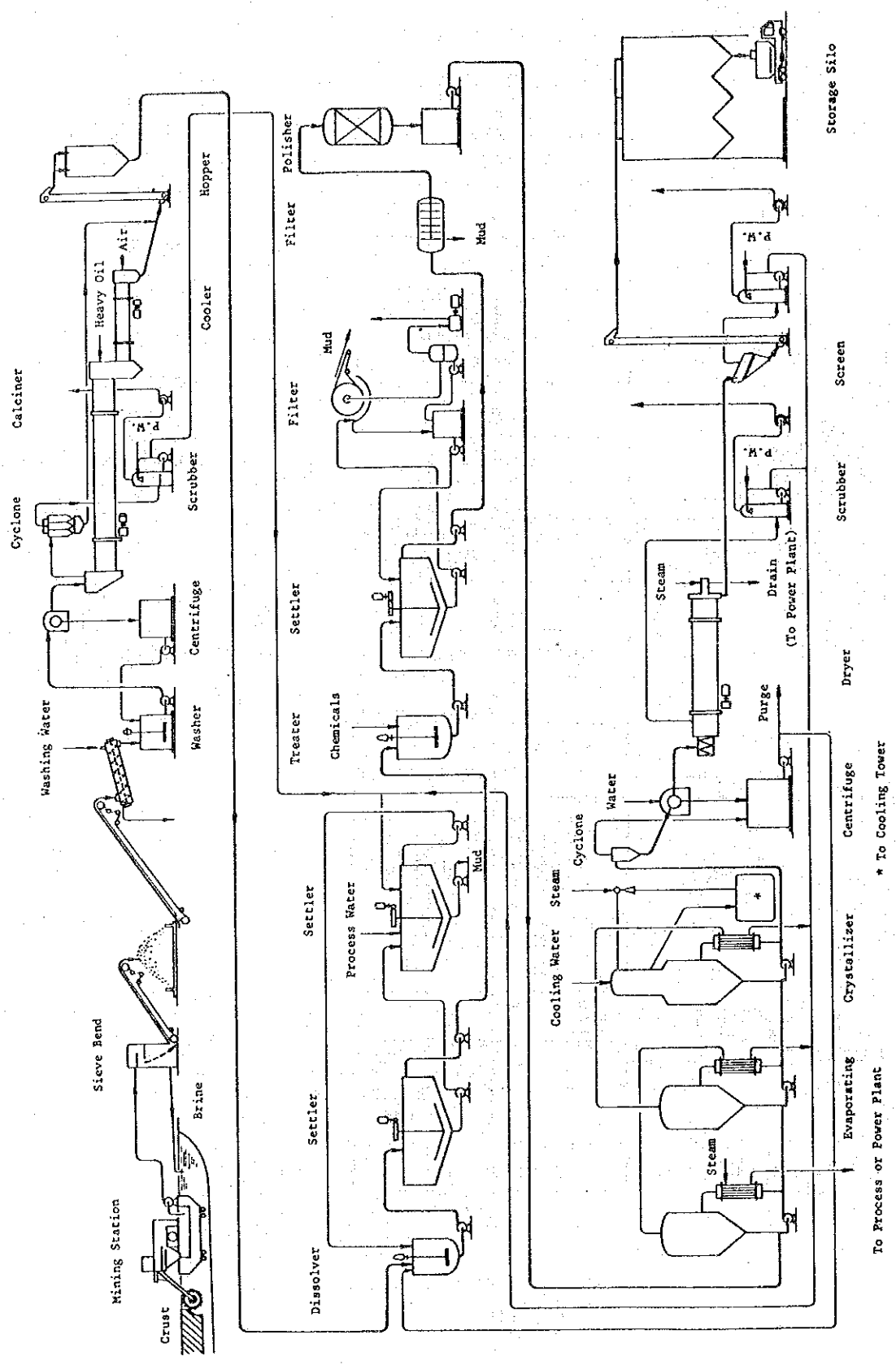


FIG. 4-5 FLOW CHART OF SODA ASH PRODUCTION FROM NATURAL SODA CRUST



#### 4-2-5 製品の品質と原単位

##### (1) 品質

設計されたプロセスによって精製されるデンスソーダ灰の品質については、実験室規模での研究結果から判断すると次のように推定される。

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	約 99 W%
NaCl	0.5 # 以下
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	約 0.7 #
NaF	100~200 p.p.m
嵩密度	1.0 g/cm以上

なお、さらに正確な製品品質を推定するためには、今後パイロットプラントを建設しテストを実施する必要がある。

##### (2) 原単位

設計されたプロセスに基づき、必要とされる投入物の原単位、すなわち1tのデンスソーダ灰を生産するに必要な投入物の量は次のとおりである。ただし将来詳細設計の過程では、若干の変更もあり得る。

クラスト(乾量)	2	t/t-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
プロセス水	6	#
重油	0.20	#
蒸気(39°C, 70kg/cmG)	1.58 <sup>※1</sup>	#
電力	1.44 <sup>※2</sup>	KWH/t-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
ケミカルズ	6.28	ドル/t-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>

※1. 蒸気を発生するために必要な重油は上記の重油原単位に含まれる。

※2. 電力を発生するために必要な蒸気は上記の蒸気原単位に含まれる。

#### 4-2-6 主要機器

設計されたプロセスに基づき、プラントを建設する場合に必要な機器については、ソーダ灰生産規模(250 t/y, 500 t/yおよび1,000 t/y)別に各々表4-6に示す。

表4-6 主要機器リスト

採掘セクション	250,000 t/y	500,000 t/y	1,000,000 t/y
バケットドレッジャー	1基	1基	2基
粉碎機, ふるい	1 #	1 #	2 #

	250,000 t/y	500,000 t/y	1,000,000 t/y
スラリー輸送設備	1 系列	1 系列	2 系列
シーブバンド	3 基	3 基	6 基
<u>精製プラント</u>			
クラスト洗浄機	2 基	4 基	8 基
カルサイナー	1 //	2 //	4 //
ロータリクーラ	1 //	2 //	4 //
粗ソーダホッパー	1 //	2 //	4 //
溶解槽	1 //	1 //	2 //
マッドセッター	2 //	2 //	4 //
脱フッ素精製設備	1 系列	1 系列	2 系列
晶出槽-熱交換器	1 //	1 //	2 //
遠心分離機	10 基	18 基	36 基
乾燥機	1 //	2 //	4 //
ふるい	2 //	3 //	6 //
製品サイロ	1 //	2 //	4 //
スクラバー	3 //	4 //	8 //

その他の機器

- 中間タンク      • サージタンク      • 攪拌機      • ポンプ      • ファン
- ブローア      • ベルトコンベア      • バケツコンベア      • チェインコンベア
- サイクロン      • 熱交換機      • バーナー      • スチームエゼクター
- トラックスチール      • 計装機器

ユーティリティ施設

取水施設	1 系列	1 系列	1 系列
送水設備	1 //	1 //	2 //
貯水池	1 //	1 //	2 //
凝集沈澱設備	1 //	1 //	2 //
冷水塔	2 基	3 基	6 基
上水処理設備	1 //	1 //	1 //
重油貯蔵設備	1 //	2 //	3 //
計装用圧縮空気設備	2 //	2 //	3 //

動力プラント

ボイラ給水処理設備	1 系列	1 系列	2 系列
ボイラー	1 基	1 基	2 基
発電機	1 //	1 //	2 //
配電設備	1 系列	1 系列	1 系列
保安電力設備	1 //	1 //	1 //

4-2-7 工場配置

図4-6にソーダ灰年産500千tの場合の工場配置図を実線で示す。なお将来生産規模を1000千tに拡大する場合も考慮に入れ、増設可能な形態をとっている。増設予定部分は点線で示す。

工場の敷地は、東西315m、南北300mのほぼ正方形をなしその総面積は94,500m<sup>2</sup>となっている。

4-3 ユーティリティ

4-3-1 ユーティリティの消費量

ナトロン湖に存在するソーダクラストから前4-2に述べたプロセスによりソーダ灰500千t/yを精製する場合に必要な水、重油、電力および蒸気の1日当り消費量は次のとおりである。

表4-7 1日当りユーティリティ消費量

(ソーダ灰年間500千t生産の場合)

ユーティリティ	消費量
1. 水	10,600 t
(1) プロセス水	10,000 t
ソーダ精製工程	4,170 t
ボイラー補給水	1,300 t
冷水塔補給水	3,330 t
その他	1,200 t
(2) 生活用水	600 t
2. 重油	340 t
(1) 粗ソーダ焼成工程	150 t
(2) ボイラー	190 t

ソーダ精製工程	1 6 5 t
3. 電 力	2 4 0 MWH
(1) クラスト採掘工程	2 4 MWH
(2) ソーダ精製工程	1 6 3 MWH
(3) そ の 他	5 2 MWH
(4) 家 庭 用	1 MWH
4. 蒸 気 ( 7 0 Kg/cm <sup>2</sup> G・3 9 3℃)	2, 6 3 0 t

#### 4-3-2 用水計画

##### 4-3-2-1 水 源

ナトロン湖周辺全域にわたり、十分な水量を有する河川または湧水の存在を調査した結果、ナトロン湖北側にンガレニロ川 ( Ngare Nyiro River ) および西側にペニンジ川 ( Peninj River ) があることがわかった。また、湖に流入する温泉水もみられた。

##### (1) 水 量

水量測定の結果、ンガレニロ川およびペニンジ川はともに約  $7 6, 0 0 0 m^3/d$  の水量を有しこれはソーダ灰年間  $1 0 0 0$  千 t を精製するのに十分な量である。

しかし、今回の水量測定の時期が、すでに小雨期に入っていたため、年間を通じ十分な水量を確保し得るか否かについては確言できない。これらの年間水量を確認するためには長期 ( 少くとも 2 ~ 3 年 ) にわたり継続して水量を測定する必要がある。

一方、温泉水のうち水量が豊富とみられる 3 つ ( 図 2 - 7 における HW - 2 , HW - 3 , HW - 6 ) について水量を測定したところ、うち HW - 2 および HW - 6 は、 $4 3, 2 0 0 m^3/d$  と  $2 4, 0 0 0 m^3/d$  の水量を有し、前述の前河川より少量であるが、ソーダ灰精製には十分な量である。

##### (2) 水 質

プロセス水および生活水として利用し得る水質であるか否かを判定するために、ンガレニロ川 ( Ngare Nyiro Rivev ) , ペニンジ川 ( Peninj Rivev ) および湖畔の温泉水から 7 サンプルを採取し水質分析を行った。その結果は表 4 - 8 に示す。

水質分析によれば、温泉水は、アルカリ濃度および塩素濃度が高く、工業用水としては使用困難である。

以上のように量的にも質的にも河川水が優れており、水源は、ナトロン湖に流入するンガレニロ川またはペニンジ川に求めるのがよいと考える。

両河川水の水質について分析結果から判断すればンガレニロ川 ( Ngare Nyiro Rivev )



図 4-6 天然ソーダ灰精製工場 概略配置

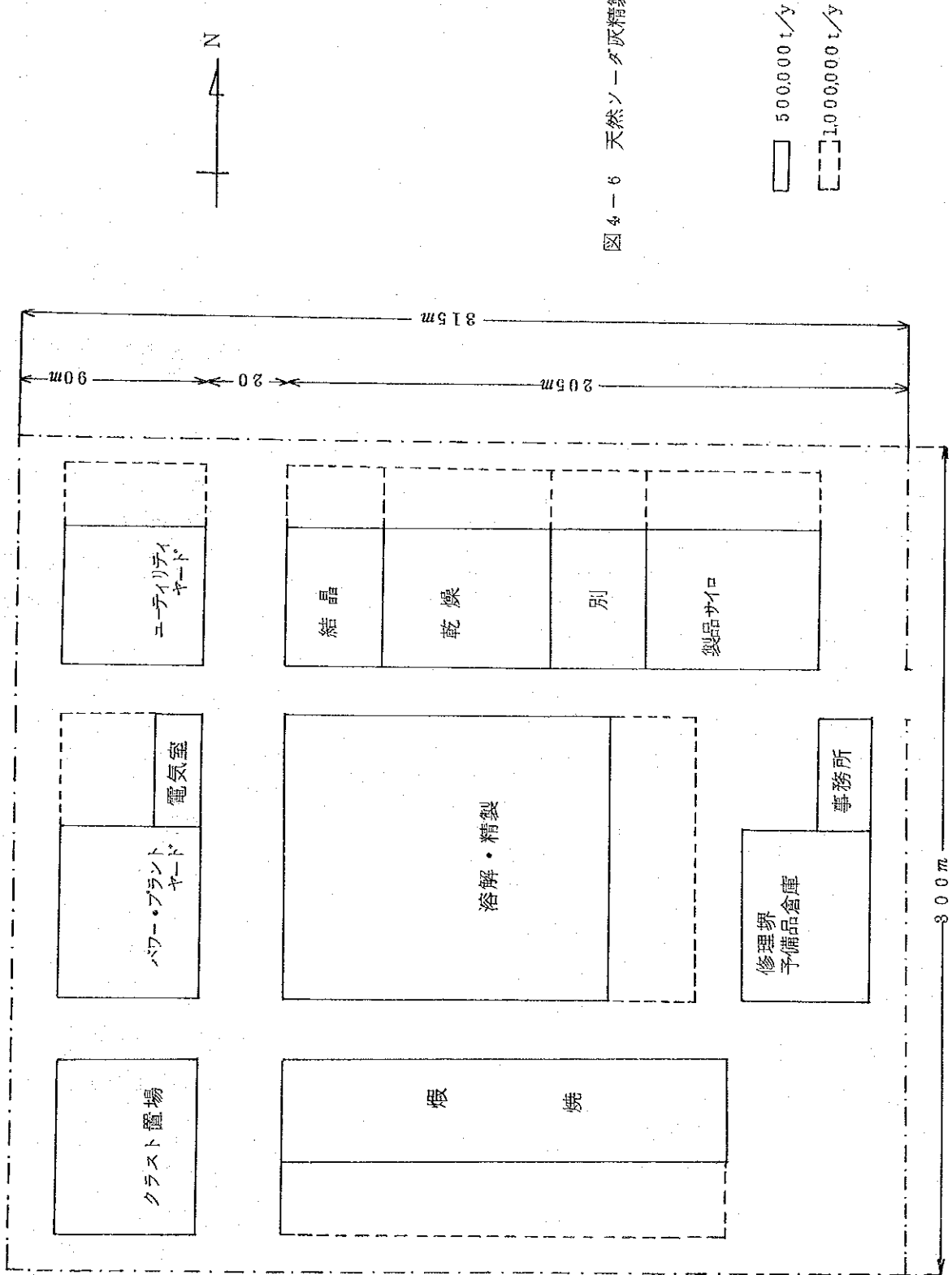


図 4-8 Analysis of River and Spring Water

サンプリング No.	色	におい	濁度	pH	S.G. 15°C	浮遊固形分 g/l	チ-ア-ソ-ド (as Na) g/l	Cl g/l	SiO <sub>2</sub> g/l	CaCO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> g/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cu mg/l	F mg/l
RW 1	薄黄土色	無臭	50	8.4	0.997	0.2	0.07	0.02	55	50	0.05	2.4	0.40	0.85	0.014
2	薄黄色	"	2	8.1	0.998	0.2	0.05	0.01	22	100	0.04	0.5	0.33	0.38	0.007
HW 1	"	"	1.1	9.3	1.019	0.1	2.1	1.5	65	20以下	1.2	1.0	0.33	1.68	0.13
2	無色	"	1	9.1	1.005	0.1以下	6.4	1.2	22	20以下	0.10	0.2	0.33	1.65	0.024
3	"	"	2	9.7	1.029	0.1以下	7.5	5.3	48	20以下	3.0	0.3	0.33	1.65	0.12
4	黄土色	"	400	10.0	1.014	0.2	4.1	0.9	42	20以下	2.8	5.0	0.68	1.45	0.072
5	薄黄色	"	8	10.1	1.008	0.1	2.9	5.5	62	20以下	1.4	0.5	0.33	1.25	0.058
6	"	"	2	8.9	1.002	0.1以下	1.1	0.78	23	20	0.06	0.3	0.35	0.63	0.026
7	"	"	5	9.2	0.998	0.1以下	2.0	0.57	38	60	0.12	0.3	0.38	0.35	0.010

は濁度が高く、常時除濁する必要があり除濁経費が若干高くなる欠点がある。一方、ペニンジ川を取水源とした場合、ナトロン湖を横断する取水用道路の建設が必要であるのに反し、ンガレニロ川はプラントサイドまですべて陸上沿いに配管を設置することが可能であり取水設備の建設費用は約200万ドル程度安価となるので、経済的にはンガレニロ川を水源とする方が有利である。

次に、このンガレニロ川はケニア国内を流れ河口附近はケニアとの国境に近接しておりこの河川水の利用に関しては両国間の話し合いが必要と考えられる。ンガレニロ川の利用に関し両国間において何ら話し合いがなされていない現在の段階では、経済的には若干不利と思われるペニンジ川を水源としたい。

#### 4-3-2-2 生活用水

水質分析の結果に示す通り、ペニンジ川またはンガレニロ川のいずれを利用する場合でも、その河川水はフッ素濃度が高く、脱フッ素処理を行わなければそのまま飲料水として使用することはできない。ちなみに、飲料水に関するフッ素の水質基準は日本の場合0.8p.p.m.以下と規定されており、またW・H・Oでは1.0p.p.m.以下と規定されている。

一般に人間が長期にわたり微量のフッ素を摂取した場合、まず最初に、最もフッ素に敏感である歯、骨などの石灰化組織に影響があらわれるとされており、Smith & Hodge<sup>1)</sup>によると飲料水のフッ素が2ppmくらいになると、歯のフッ素中毒症として斑状歯が出現してくる。またMc.Clure<sup>2)</sup>によると、飲用期間、気候、栄養状態等によって若干異なるが、1日のフッ素摂取量が4~5mgになると、骨硬化症が起るとされている。

1) Smith F.A and Hodge H.C (1959)

Indiana Univ Press, P 1~37

2) Mc.Clure F.J. and Linkins, R.C (1962)

Fluoride Drinking Water. P 392~394

U. S. Dept of Health Education and Welfare.

Public Health Service Bethesda Maryland.

#### 4-3-2-3 水処理設備

Peninj River の河口に取水口、導水管、沈澱池、ポンプ室からなる取水設備を設置し、河川水を配管によって工場貯水池に送水する。配管はナトロン湖を道断する道路を建設してその上に布設する。送水された河川水は凝集沈澱処理設備により、その水質に応じた薬品処理を行い浮遊固形分を沈降除去する。

上澄水は、プロセス水、冷水塔補給水、上水用原水及びボイラー原水として各工程に送配水する。

上水は、上水用原水をさらに脱フッ素処理してフッ素濃度 1.0 ppm 以下としたのち、ろ過装置にて原水中に残存する微粒固形物及び菌菌を取り除き、塩素を加えて完全に消毒して飲料水として送配水する。

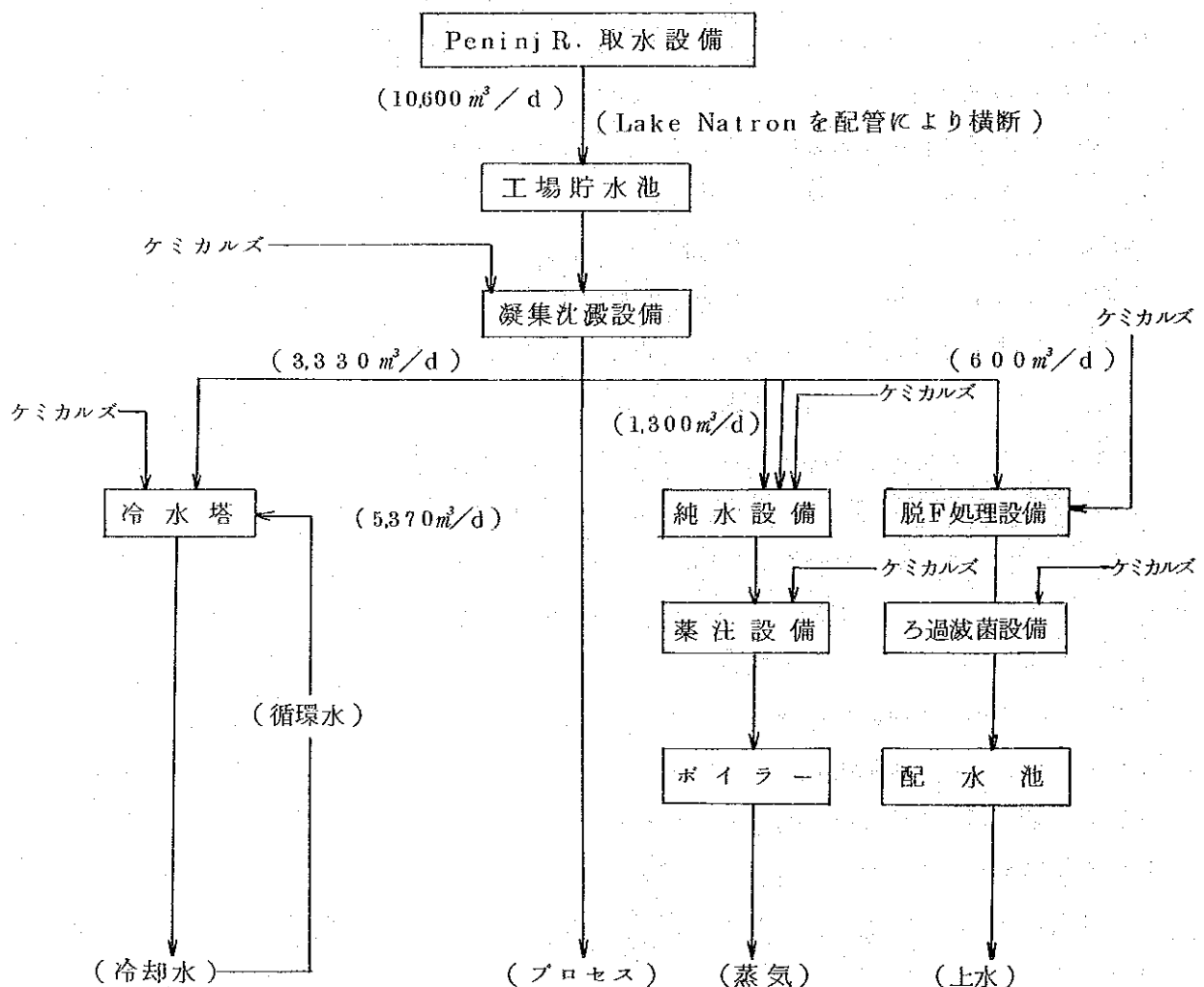
ボイラー水は、ろ過装置にてボイラー原水中に残存する微粒固形物を完全に除去したのち、水中に溶存しかつ、スケール生成の原因となる硬度成分 ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  等) および腐蝕の原因となる  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Cl}^-$  等の陰イオンを純水装置にて除去する。このようにして得られた純水は更に脱酸素剤、清浄剤等を添加してボイラーに供給する。

冷水塔補給水は、凝集沈澱処理設備のと澄水を冷水塔に送り、そこで薬品処理を行った後、冷却水として循環使用する。

プロセス水は、凝集沈澱処理設備における上澄水を直接精製プラントへ送る。

以上の水処理の系統と必要水量を図 4-7 に示す。

図 4-7 水処理系統図

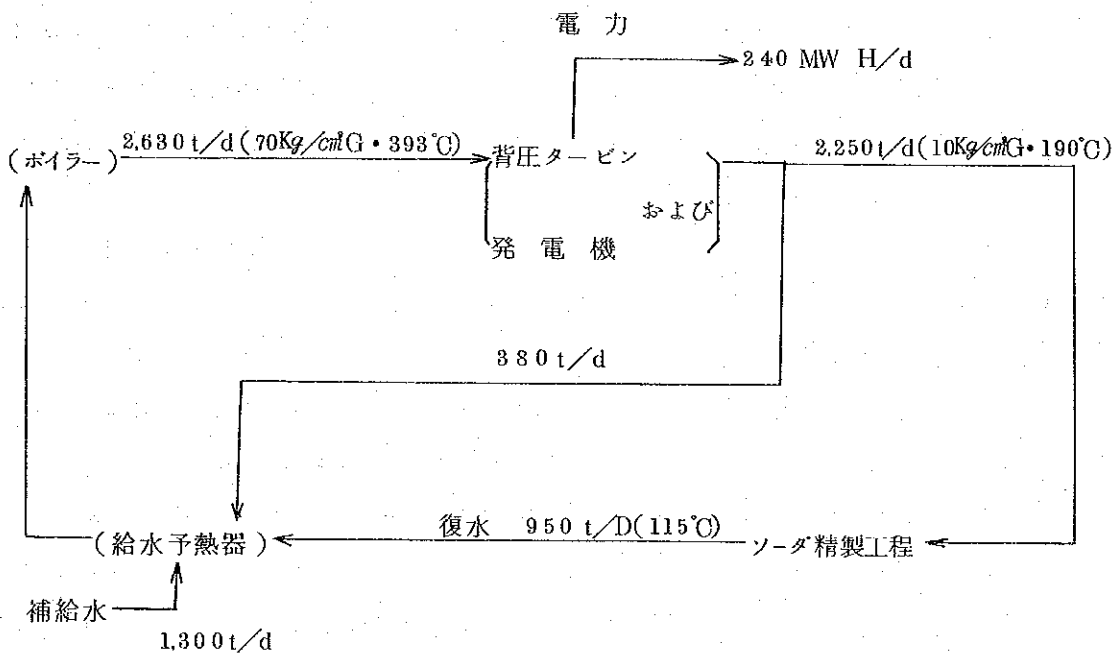


### 4-3-3 蒸気

ソーダ灰精製工程には、 $2,250 \text{ t/d}$  (at  $190^\circ\text{C}$   $10\text{Kg/cm}^2\text{G}$ ) のプロセス蒸気が必要である。ボイラーで発生した高圧蒸気  $2,630 \text{ t/d}$  ( $393^\circ\text{C}$   $70\text{Kg/cm}^2\text{G}$ ) は、先ず、背圧タービンで  $10\text{Kg/cm}^2\text{G}$  まで、膨張されて、プラントに必要な電力の発電に利用される。

その排蒸気は、ほぼ全量前述のプロセス蒸気として用いられ、残りはボイラー給水の予熱に有効利用されるシステムになっており、その系統を図4-8に示す。

図4-8 蒸気利用系統図



### 4-3-4 エネルギー源

#### 4-3-4-1 電力

ソーダ灰の精製過程において使用する電力を工場外部からの購入電気に依存すべきかあるいは工場内部における自家発電に依存すべきかを決定するために以下の検討を試みる。

#### (1) 精製過程で必要とされる蒸気との関連

ソーダ灰の精製工程においては大量の蒸気を必要とすることは先に述べた通りである。したがって、外部から電力を購入した場合においても、必要量の蒸気を確保するために、工場内にボイラーを設置しなければならない。さらに、必要量の蒸気が確保されれば、工場等で使用する全電力量を発電することが可能であり、発電に使用したとほぼ同量の蒸気をそのままプロセ

ス用蒸気として利用できる。すなわち、精製工程に不可欠な  $2.630 \text{ t/d}$  の蒸気（ソーダ灰  $500 \text{ 千 t/y}$  の生産の場合）には発電にも併用できる。

このように発電にも併用できる蒸気を発電に利用せず、別に外部から電力を購入することは極めて不経済と言える。

### (2) 外部からの購入による必要電力量の入手可能性

工場外部から電力を購入する場合、送電距離等から判断してアルーシャ (Arusha) およびモシ (Moshi) の電力を利用することが最も有利と考えられる。

しかし、アルーシャおよびモシにおける発電容量は現在のところそれぞれ  $88.8 \text{ MWH/d}$  および  $237.6 \text{ MWH/d}$  で、うち両地域において、それぞれ  $88.8 \text{ MWH/d}$  および  $45.6 \text{ MWH/d}$  は消費されており余剰電力は、 $192 \text{ MWH/d}$  にすぎない。一方、ソーダ灰  $500 \text{ 千 t/y}$  を生産するために費される電力量は  $240 \text{ MWH/d}$  で  $48 \text{ MWH/d}$  の電力が不足する。

### (3) 電力単価の比較

アルーシャにおける売電単価は、 $2.38 \text{ cent/KWH}$  で、それをナトロン湖まで送電した場合途中の放電ロスを見てもそのコストは  $0.39 \text{ cent/KWH}$  となり、ナトロン湖における購入単価は  $2.77 \text{ cent/KWH}$  となる。

一方、工場内で重油または石炭を燃料として自家発電した場合の電力単価は、後述の通りそれぞれ  $2.18 \text{ cent/KWH}$  (重油使用の場合) および  $2.88 \text{ cent/KWH}$  (石炭使用の場合) となり、重油を使用した場合は、アルーシャの余剰電力を購入した場合に比較し、 $0.59 \text{ cent/KWH}$  安価な電力が入手可能となる。

以上に述べた観点から、ソーダ灰の精製過程において使用する電力は、工場内における自家発電に依存することが望ましい。

アルーシャにおける売電単価およびナトロン湖までの送電コストはソーダ灰年産  $500 \text{ 千 t}$  の場合それぞれ次の通り試算される。

#### (a) アルーシャにおける売電単価

契約電力	10,000 KVA	
基本料金 (対契約電力)	0~40 KVA	12255ドル
	40 KVA~	2.45ドル/KVA
単価 (Unit Charge) 消費電力量	0~240 MWH/d	1.47セント/KWH
高圧受電による特別割引	単価の4%引き	
燃料加算税	上記合計金額の30%引き	

とした場合のアルーシャにおける電力単価は、

基本料金

$$\begin{aligned} & \left[ \left\{ (122.55 \text{ドル}) (10^2) + (10000 - 40 \text{KVA}) (2.45) (10^2) \right\} (12) \right] / \\ & (500000 \text{t/y}) (144 \text{KWH/t}) = 0.42 \text{セント/KWH} \\ \text{単価 (含特別割引)} & (1.47 \text{セント/KWH}) (100 - 4 / 100) \\ & = 1.41 \text{セント/KWH} \\ \text{燃料加算税} & (0.42 + 1.41) (0.30) = 0.55 \text{ \#} \\ \hline \text{合計} & 2.38 \text{セント/KWH} \end{aligned}$$

(b) アルーシャ〜ナトロン湖間の送電コスト送電及び受変電設備建設コスト	1.93×10 <sup>6</sup> ドル
送電及び受変電設備建設コスト	1.93×10 <sup>6</sup> ドル
受変電設備運転人員	11名
設備の償却	20年定額
修理費	建設コストの3%
税保険料	簿価の2%
設備金利	簿価の10%
人件費単価	1,078.43ドル/y
消費電力	240MW/d
工場稼働率	300d/y

とした場合のナトロン湖における電力単価を下記に示す。

$$\begin{aligned} \text{労務費} & (1,078.43 \text{ドル/y}) (11 \text{名}) / (300 \text{d/y}) (240 \times 10^3 \text{KWH/d}) \\ & = 0.02 \text{セント/KWH} \\ \text{減価償却費} & (1.93 \times 10^6 \text{ドル}) / (20 \text{y}) (300 \text{d/y}) (240 \times 10^3 \text{KWH/d}) \\ & = 0.13 \text{セント/KWH} \\ \text{修理費} & (1.93 \times 10^6 \text{ドル}) (3\%) / (300 \text{d/y}) (240 \times 10^3 \text{KWH/d}) \\ & = 0.08 \text{セント/KWH} \\ \text{税保険料} & (1.93 \times 10^6 \text{ドル}) (2\%) (1/2) / (300 \text{時}) (240 \times 10^3 \text{KWH/d}) \\ & = 0.03 \text{セント/KWH} \\ \text{設備金利} & (1.93 \times 10^6 \text{ドル}) (10\%) (1/2) / (300 \text{d/y}) (240 \times 10^3 \text{KWH/d}) \\ & = 0.13 \text{セント/KWH} \\ \hline \text{合計} & 0.39 \text{セント/KWH} \end{aligned}$$

次に、ナトロン湖において重油および石炭を使用し自家発電した場合の電力単価は、ソ  
ーダ灰年産500千トンの場合、次のとおり試算される。

(c) 燃料に重油を使用した場合の電力単価

(c) 燃料に重油を使用した場合の電力単価

発電所建設コスト	6.96×10 <sup>6</sup> ドル
運転人員(ボイラー運転員も含む)	18名
重油消費量	25 t/d
重油単価	73.53ドル/t
用水消費量	1,300 t/d
用水単価	0.30ドル/t・water

他の条件は、前述(b)と同じとした場合の電力単価は下記の通りである。

比例費

$$\text{重油代} (25 \text{ t/d}) (73.53 \text{ ドル/t}) / (240 \times 10^3 \text{ KWH/d}) = 0.77 \text{ セント/KWH}$$

$$\text{用水代} (1300 \text{ t/d}) (25/190 \text{ ※}) (0.30 \text{ ドル/t}) / (240 \times 10^3 \text{ KWH/d}) \\ = 0.02 \text{ セント/KWH}$$

---

小計 = 0.79 #

固定費

$$\text{労務費} (1078.43 \text{ ドル/y}) (18 \text{ 名}) (15/190 \text{ ※}) / (300 \text{ d/y}) (240 \times 10^3 \text{ KWH}) \\ = 0.04 \text{ セント/KWH}$$

$$\text{減価償却費} (6.96 \times 10^6 \text{ ドル}) / (20 \text{ y}) (300 \text{ d/y}) (240 \times 10^3 \text{ KWH/d}) \\ = 0.48 \text{ セント/KWH}$$

$$\text{修理費} (6.96 \times 10^6 \text{ ドル}) (3\%) / (300 \text{ d/y}) (240 \times 10^3 \text{ KWH/d}) \\ = 0.29 \text{ セント/KWH}$$

$$\text{税保険料} (6.96 \times 10^6 \text{ ドル}) (2\%) (1/2) (300 \text{ d/y}) (240 \times 10^3 \text{ KWH/d}) \\ = 0.10 \text{ セント/KWH}$$

$$\text{設備金利} (6.96 \times 10^6 \text{ ドル}) (10\%) (1/2) (300 \text{ d/y}) (240 \times 10^3 \text{ KWH/d}) \\ = 0.48 \text{ セント/KWH}$$

---

小計 1.39 #

---

合計 2.18 セント/KWH

※：パワープラントの総消費用水量または運転人員を発電用(25 t/d)および蒸気用(165 t/d)重油の消費比率に配分した。

(d) 燃料に石炭を使用した場合の電力単価

発電所建設コスト	7.70×10 <sup>6</sup> ドル
運転人員(ボイラー運転員も含む)	26名
石炭消費量	46 t/d



石炭単価	66.67ドル/t
石炭単価の内訳	
鉱山元原価	30.04ドル/t
鉱山元→アールシャ運送費	26.96ドル/t
アールシャ→ナトロン運送費	6.50ドル/t
アールシャでの積換え及びナトロンでの払出し経費	2.57ドル/t

石炭の品質

水分	8%
灰分	10%
揮発分	27%
固定炭素	60%
流黄分	0.8%
灰軟化温度	1,230℃以上
粒度	1/4"スクリーン通過40%以上 最大1"以下
発熱量	7,800 kcal/Kg (乾炭高位)
用水単価	0.31ドル/t

その他は前述(c)と同一条件とした場合の電力単価を下記に示す。

比例費

$$\begin{aligned} \text{石炭} (46 \text{ t/d}) (66.67 \text{ ドル/t}) (240,000 \text{ KWH/d}) &= 1.27 \text{ セント/KWH} \\ \text{用水費} (1,300 \text{ t/d}) (46/300 \times) (0.31 \text{ ドル/t}) (240,000 \text{ KWH/d}) & \\ &= 0.03 \text{ セント/KWH} \end{aligned}$$

$$\text{小計} = 1.30 \text{ \#}$$

固定費

$$\begin{aligned} \text{労務費} (1,078.43 \text{ ドル/y}) (26 \text{ 名}) (46/300 \times) / (300 \text{ d/y}) (240,000 \text{ KWH/d}) & \\ &= 0.03 \text{ セント/KWH} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{減価償却費} (7.70 \times 10^6 \text{ ドル}) / (20 \text{ Y}) (300 \text{ d/y}) (240,000 \text{ KWH/d}) & \\ &= 0.54 \text{ セント/KWH} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{修理費} (7.70 \times 10^6 \text{ ドル}) (3\%) / (300 \text{ d/y}) (240,000 \text{ KWH/d}) & \\ &= 0.33 \text{ セント/KWH} \end{aligned}$$

$$\text{税保険料} (7.70 \times 10^6 \text{ ドル}) (2\%) (1/2) / (300 \text{ d/y}) (240,000 \text{ KWH/d})$$

$$= 0.10 \text{ セント/KWH}$$

$$\text{設備金利} (2.70 \times 10^6 \text{ ドル}) (10\%) (1/2) / (300 \text{ d/y}) (240,000 \text{ KWH/d})$$

$$= 0.53 \text{ セント/KWH}$$

小 計	1.52	#
合 計	2.83	#

※：パワープラントの総消費水量または運転人員を発電用 (46 t/D) 及び蒸気用 (254 t/D) 石炭消費比率で配分した。

#### 4-3-4-2 燃 料

ソーダ灰の精製過程で必要とされる蒸気を発生せられるための燃料としては、重油と石炭が考えられ、そのいずれが経済的に有利であるかを比較検討する。

##### (1) 重油を使用した場合の蒸気単価の試算

ボイラー建設費	$6.17 \times 10^6 \text{ ドル}$
ソーダ精製工程蒸気用重油消費量	$165 \text{ t/d}$
プロセス用蒸気発生量	$2250 \text{ t/d}$
重油単価	$73.53 \text{ ドル/t}$
ボイラー用水消費量(※)	$1300 \text{ t/d} \times \frac{165}{190}$
用水単価	$0.30 \text{ ドル/t}$
労務費(※)	$1078.43 \text{ ドル/man} \cdot \text{y} \times 18 \text{ 人} \times \frac{165}{190}$

※：ボイラー用水消費量と労務費は発電用重油の消費量 (25 t/d) と蒸気用重油の消費量 (165 t/d) の比率で配分する。

以上の条件における蒸気単価は次の通りである。

##### (a) 比 例 費

重油代	$165 \text{ t/d} \times 73.53 \text{ ドル/t} \times \frac{1}{2250 \text{ t/d}} = 0.02 \text{ ドル/t}$
用水代	$(1300 \text{ t/d} \times \frac{165}{190}) \times 0.30 \text{ ドル/t} \times \frac{1}{2250 \text{ t/d}} = 0.15 \text{ #}$
ケミカルズ	0.03 #
比例費小計	55.7 #

##### (b) 固 定 費

労務費	$(1078.43 \text{ ドル/man} \cdot \text{y} \times 18 \text{ 人} \times \frac{165}{190}) \times \frac{1}{300 \text{ d/y} \times 2250 \text{ t/d}} = 0.02 \text{ ドル/t}$
減価償却費	$(6.17 \times 10^6 \text{ ドル}) \times \frac{1}{20 \text{ y}} \times \frac{1}{300 \text{ d/y} \times 2250 \text{ t/d}} = 0.46 \text{ #}$
修理費	$(6.17 \times 10^6 \text{ ドル}) \times 3\% \times \frac{1}{300 \text{ d/y} \times 2250 \text{ t/d}} = 0.27 \text{ #}$
税保険料	$(6.17 \times 10^6 \text{ ドル}) \times 2\% \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{300 \text{ d/y} \times 2250 \text{ t/d}} = 0.09 \text{ #}$

$$\text{設備金利} (6.17 \times 10^6) \text{ドル} \times 10\% \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{300 \text{d/y} \times 2250 \text{t/d}} = 0.46 \text{ドル/t}$$

固定費小計 1.3 //

蒸気単価合計 (a) + (b) = 6.87 ドル / t · steam

(2) 石炭を使用した場合の蒸気単価の試算

但し、使用した石炭は発電に使用すると同質、かつ同価格のものとする。

ボイラー建設費	13.67 × 10 <sup>6</sup> ドル
ソーダ精製蒸気用石炭消費量	254 t / d
プロセス用蒸気発生量	2,250 t / d
石炭単価	66.67 ドル / t
ボイラー用水消費量 (※)	1300 t / d × $\frac{254}{300}$
用水単価	0.31 ドル / t
労務費 (※)	1,078.43 ドル / man · y × 26人 × $\frac{254}{300}$

※ボイラー用水消費量と労務費は発電用石炭の消費量 (46 t / d) と蒸気用石炭の消費量 (254 t / d) の比率で配分する。

以上の条件における蒸気単価は次の通りである。

(a) 比例費

$$\text{石炭代} 254 \text{ t/d} \times 66.67 \text{ドル/t} \times \frac{1}{2250 \text{ t/d}} = 7.52 \text{ドル/t}$$

$$\text{用水代} (1300 \text{ t/d} \times \frac{254}{300}) \times 0.31 \text{ドル/t} \times \frac{1}{2250 \text{ t/d}} = 0.15 //$$

$$\text{ケミカルズ} 0.03 //$$

比例費小計 7.70 //

(b) 固定比

$$\text{労務費} (1,078 \text{ドル/man} \cdot \text{y} \times 26人 \times \frac{254}{300}) \times \frac{1}{300 \text{d/y} \times 2250 \text{t/d}} = 0.04 \text{ドル/t}$$

$$\text{減価償却} (13.67 \times 10^6) \text{ドル} \times \frac{1}{20 \text{y}} \times \frac{1}{300 \text{d/y} \times 2250 \text{t/d}} = 1.01 //$$

$$\text{修理費} (13.67 \times 10^6) \text{ドル} \times 3\% \times \frac{1}{300 \text{d/y} \times 2250 \text{t/d}} = 0.61 //$$

$$\text{税保険料} (13.67 \times 10^6) \text{ドル} \times 2\% \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{300 \text{d/y} \times 2250 \text{t/d}} = 0.20 //$$

$$\text{設備金利} (13.67 \times 10^6) \text{ドル} \times 10\% \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{300 \text{d/y} \times 2250 \text{t/d}} = 1.01 //$$

固定費小計 2.87 //

蒸気単価合計 (a) + (b) = 10.57 ドル / t steam

(3) 以上の試算を一覧表にまとめると表4-9の通りである。

表 4-9 重油および石炭を利用した場合の蒸気単価の比較

(単位：ドル/t steam)

費用	重油の場合	石炭の場合	差額
(a) 比例費	5.57	7.70	2.13
燃料費	5.39	7.52	2.13
用水代	0.15	0.15	0
ケミカルズ	0.03	0.03	0
(b) 固定費	1.30	2.87	1.57
労務費	0.02	0.04	0.02
減価償却費	0.46	1.01	0.55
修理費	0.27	0.61	0.34
税保険料	0.09	0.20	0.11
設備金利	0.46	1.01	0.55
計	6.87	10.57	3.70

表 4-9 から明らかなように、石炭は、重油に比較して、経済的に極めて不利である。その主な理由は、石炭の鉱山がナトロン湖より遠距離にあるため、その輸送コストが高み工場での購入単価が高いこと、あるいは、石炭を利用した場合のボイラーの建設費が、重油の場合に比較し、2倍以上となるため固定費が大きくなる点にある。

石炭を利用する場合、精製過程で必要とする蒸気 1 t を発生させるために、重油に比較し 3.70 ドルも高くなるということは、製品 1 t の製造コストは約 5.8 ドル (= 3.70 ドル/t steam × 1.58 t steam/t 製品) も割高となる。

(4) 経済的にみて、石炭が重油の代替燃料となり得るためには、石炭のコストはいかにあるべきかを概略検討する。

その場合利用する石炭の品質は

水分	8%
灰分	10%
揮発分	2.7%
固定炭素	60%
灰軟化温度	1,230℃以上
粒度	1/4" スクリーン通過 4%以上

最大1%以下

発熱量 7,800 kcal/Kg (乾炭高位)

としこれを使用して発電量240 MWH/d, プロセス蒸気発生量2,250 t/d (ソーダ灰5,000千t/y生産時消費電力および消費蒸気相当)を得るためのパワープラントの建設コスト等は, 下記の如くである。

	重油 き	石炭 き	差 額
建設コスト×10 <sup>6</sup> (ドル)	13.13	21.37	8.24
運転人員 (人)	18	26	8
燃料消費量 (t/d)	190	300	110

また

建設費の償却: 20年定額

修 理 費: 建設費の3%

金 利: 簿価の10%

税 保 険 料: 簿価の2%

人件費単価: 1,078.48ドル/y・人

重油単価: 73.53ドル/t

とした場合

重油単価の石炭単価換算値  $(190/300)(73.53 \text{ドル/t} \cdot \text{oil}) = 46.56 \text{ドル/t} \cdot \text{coal}$

固定費差額

労務費  $(1,078.48 \text{ドル/y} \cdot \text{人})(8 \text{人}) / (300 \text{d/y})(300 \text{t/d}) = 0.10 \text{ドル/t} \cdot \text{coal}$

減価償却費  $(8.24 \times 10^6) \text{ドル} / (20 \text{y})(300 \text{d/y})(300 \text{t/d}) = 4.58 \text{ //}$

修理費  $(8.24 \times 10^6) \text{ドル}(3\%) / (300 \text{d/y})(300 \text{t/d}) = 2.75 \text{ //}$

税保険料  $(8.24 \times 10^6) \text{ドル}(2\%)(1/2) / (300 \text{d/y})(300 \text{t/d}) = 0.92 \text{ //}$

設備金利  $(8.24 \times 10^6) \text{ドル}(10\%)(1/2) / (300 \text{dy})(300 \text{t/d}) = 4.57 \text{ //}$

合 計

12.92ドル/t・coal

石炭を重油の代替燃料とするためには, 工場着価格

$46.56 \text{ドル} - 12.92 \text{ドル} = 33.64 \text{ドル/t coal}$

以下まで引下げられる必要がある。なお, 上記価格には, 貯炭および払出し設備費が含まれていないのでさらに若干引下げられた価格となるであろう。

また, この場合, 大量の灰分(30 t/d)が副生する。したがって, 別途この処理方法についても検討する必要がある。

#### 4-3-4-3 ペニンジ川の水力発電の可能性

プラントの電力供給源とするためにペニンジ川 (Peninj River) の河口に有効落差 50 m h のダム建設を行い、水力発電を行った場合、今回の測定によって得られた流量  $76,000 \text{ m}^3/\text{d}$  で可能な発電量は 7 MWH / d である。

また、ペニンジ川の流量面積約  $1,000 \text{ km}^2$ 、年間雨降水量  $400 \text{ mm}$ ※、流水係数 50% とした場合の年間平均発電量は 46 MWH / d である。これはソーダ灰の生産量 50.0 千 t / y 時の消費電力 240 MWH / d に比較して非常に少なく、プラントのエネルギー源としては、不十分である。

※ マガジにおける年間降雨量  $384 \text{ mm}$  を準用した。

#### 4-3-4-4 地熱発電

ナトロン湖は、アフリカ大地溝帯の中に在り、付近には多数の火山が存在する。また、ナトロン湖南側には、最近でも時々活動しているオールドイニオレンガイ火山等があり、地熱発電の可能性が考えられる。

最近開発された日本の例によると、地熱発電の発電単価は、2.5～2.7 セント / KWH 程度であり、他の水力または火力発電の電力単価 3.8～3.9 セント / KWH に比較して安価である。また、世界的にも、一般に水力および火力発電に比較して安いとされている。

このように地熱の開発調査を実施することは、タンザニア国のようなエネルギー輸入国においては省エネルギーの面から有意義と考えられる。しかしながら本調査は膨大な経費と、数年間に亘る長期の調査期間を必要とする。一般に各国においては地熱開発は他の工業プロジェクトとは切り離して単独のエネルギープロジェクトとして取り上げられ、実施されている場合が多い。したがってソーダ灰開発のためのフィジビリティ調査を実施する場合においても、地熱発電開発の調査は別途のプロジェクトとして実施されることが望ましい。ここでは地熱発電開発調査に必要な事項 (表 4-10) を示すに止める。

表 4-10 地熱発電開発に必要な調査事項

調査過程	調査事項	期間
(1) 概査	1-1) 現地の状況把握 1-2) タンザニア政府の計画把握, 検討 1-3) 今後の計画立案のための調査 (既存資料の蒐集, 整理検討も含む) 1-4) 空中写真の入手及び解析	2～3ヶ月

(2) 精査	<p>2-1) 地質調査(地質, 地質構造, 構造線, 透水層状況等の調査)</p> <p>2-2) 地表の徴候調査(噴火口, 噴気孔, 温泉, 噴出物の量, 温度, 化学成分, 変質帯の範囲, 変質鉱物, 粘度の種類, 分布等の調査)</p> <p>2-3) 地温の異常地帯調査(地表下1~2mの温度測定, 赤外線測定, 50~100mの調査井による測定等の調査により行なう)</p> <p>2-4) 水文系調査(雨量, 河川水, 地下水, 水の循環等の調査)</p> <p>2-5) 重力探査</p> <p>2-6) 電気探査</p> <p>2-7) 磁力探査</p> <p>2-8) 地化学探査</p> <p style="margin-left: 20px;">} 等により地下の地質構造, 変質帯, 熱水の存在等を調べる</p>	1~2年	
ボーリング	(3) テスト井	<p>3-1) 試験井の掘さく(これに伴う岩芯, くりこの調査; 電気検層; 温度測定; 噴出物の圧力; 温度, 化学組織, その他必要な測定を行ない, 地熱源の検討評価を行なう。)</p> <p>3-2) 調査井の掘さく(600~800m×4本)</p>	1~2年
	(4) 生産井	<p>4-1) 生産井の掘さく(測定3-1に同じ)</p> <p>4-2) 試験発電所の設計(このための井戸特性の各種測定)</p> <p>4-3) 生産井の掘さく(1000m×2本)</p>	1~2年
	(5) 試験発電	<p>5-1) 試験発電所の設置, 運転管理</p> <p>5-2) Feasibility Report 作成(技術, 経済上の検討; 将来の検討, 計画, 設計, 採算, 等)</p>	1~2年

#### 4-4 プラント所要人員数

採掘および精製プラント，ユーティリティ，パワープラントに必要な人員のリストを表4-11に示す。所要人員の算出にあたっては次の事項を考慮した。

(1) ソーダ灰の精製過程は典型的な装置産業とみなされるので，現在稼働中の一般的なプラントに要する人員を考慮しつつ，しかも本プラントに類似なプラントに要する人員を考慮して運転員数を決定した。なお，プラントは昼夜連続運転で運転員は3交代制とし，これに休日補充要員として2割の要員を加えた。

(2) タンザニア国の状況はコンビナート型態をとる先進工業諸国の状況とは異っているのでこの点を考慮に入れてメンテナンス要員は先進工業諸国における要員よりも多く算出した。なお，プラント，積替基地およびタンガ港における積出し基地の要員を一覧表として表4-12に示す。

表4-11 工場配員表

	250,000 t/y	500,000 t/y	1,000,000 t/y
(1) プラントサイト			
(1) 工場長	1	1	1
秘書	1	1	1
(小計)	(2)	(2)	(2)
(2) 事務部門			
チーフ	1	1	1
総務係	3	3	3
会計経理	4	4	4
販売・輸送	6	6	6
女子事務	3	3	3
(小計)	(17)	(17)	(17)
(3) 製造部門			
チーフ	1	1	1
女子事務	1	1	1
フォアマン	2×3.6→8	8	8
※ 工場運転員	7.0	10.3	15.6
動力運転員	7×3.6→26	2.6	10×3.6→36
(小計)	(106)	(139)	(202)



※ 備考：			
工場運転員			
(内 訳)			
採掘工程	9×2→18	9×3.6→33	15×3.6→54
煨焼工程	4×3.6→15	5×3.6→18	8×3.6→29
精製工程	4×3.6→15	6×3.6→22	8×3.6→29
結晶工程	3×3.6→11	4×3.6→15	6×3.6→22
乾燥工程	3×3.6→11	4×3.6→15	6×3.6→22
(小 計)	(70)	(103)	(156)
(4) 工務・修理部門			
チーフ	1	1	1
女子事務	1	1	1
化学技術者	2	2	2
機械技術者	2	2	2
電気技術者	2	2	2
計器技術者	2	2	2
分析技術者	3	3	3
保全・修理			
フォアマン	3	3	3
技術者(電気)	15	20	30
技術者(機械)	7	10	15
技術者(計器)	7	10	15
(小 計)	(45)	(56)	(76)
(5) 守衛・消火	3×3.6→11	11	11
(6) 診療	2	2	2
(7) 貯蔵部門			
フォアマン	1×3.6→4	4	4
検重係	1×3.6→4	4	4
(小 計)	(8)	(8)	(8)
(8) 労務者			
事務所	2	2	2
荷 積	13	15	20

工 場	5	6	9
保 全	5	6	9
(小 計)	(25)	(29)	(40)
プラントサイト合計			
従 業 員	191	235	318
労 務 者	25	29	40

表 4-12 要員一覧表

項 目	生産能力		
	250,000 t/y	500,000 t/y	1,000,000 t/y
1. プラントサイト			
(1) 工 場 長	1	1	1
(2) セクションチーフ	3	3	3
(3) 事 務 員	13	13	13
(4) 技 術 者	11	111	11
(5) 組 長	15	15	15
(6) 技 能 工	29	40	60
(7) プラント運転員	70	103	156
(8) 動力運転員	26	26	36
(9) 検 重 係	4	4	4
(10) 守衛・消防	11	11	11
(11) 診 療	2	2	2
(12) 女子事務員	6	6	6
(小 計)	(191)	(235)	(318)
労 務 者	25	29	40
2. アルージャ基地			
(1) 所 長	1	1	1
(2) 女子事務員	1	1	1
(3) 輸 送 係	4	4	4
(4) 修 理 係	5	5	7
(小 計)	(11)	(11)	(13)

勞務者			
(1) 荷役	17	84	84
(2) 運転手	50	101	200
(小計)	(67)	(185)	(284)
3. タンガ港			
(1) 所長	1	1	1
(2) 女子事務員	1	1	1
(3) 輸送・販売係	7	7	7
(4) 修理係	5	5	5
(小計)	(14)	(14)	(14)
勞務者			
(1) 事務所雑役	1	1	1
(2) 包装・荷積み	44	59	74
(小計)	(45)	(60)	(75)
総計			
従業員	216	260	345
勞務者	137	224	349



## 第5章 プラント建設費および製造コスト

前章で述べた精製プロセスに基づき、建設費および製造コストの算定を行う。この精製工場が完成し稼動するまでには、さらに多くの問題点の詳細検討と多くの準備が必要と思われ、長期間を要するものと予想される。したがって建設費および製造コストの算定に当っては、費用の上昇率と製品価格の上率とは共にインフレ率にリンクするものとし現在の価格を用いてそれぞれの算定を行うこととする。

ソーダ灰の生産規模については、年間1,000千tに拡張する場合を考慮に入れた500千t体制を基本的に検討し、250千t体制についても検討を加える。

なお、プラント建設費は、プラントサイトの建設費のみであり、工場設備に伴う従業員の為の付帯設備（病院、郵便局、学校等）は含んでいない。

### 5-1 工場設備建設費用

#### 5-1-1 工場設備建設費用算出の前提条件

工場設備の建設費用を算定するにあたり次の事項を前提とする。

1) プラント機器材料の調達価格は、日本国内において調達するものとし、価格は現時点（1976年2月）のものとする。

2) プラント機器・材料の大部分を日本国内で調達し海上輸送するものとする。ただし生コンクリートおよび住宅用建材はタンザニア国内で調達するものとする。

3) プラント機器・材料についてはすべて輸入税は賦課されないものとする。

4) 海上運賃は、重量トンと容積トンで算出し、いずれか高額の方を採用し、機器・材料額の個別積上げ方式にて算出する。

定期船を利用した場合の基本運賃を用いて算出する。

5) プラント機器・材料のタンザニア国内における輸送費は、積上げ方式により算定し建設費に含める。500千t設備の場合1,047千ドルとなる。

6) 工場建設のために必要な人員は、外国人(A)20%、外国人(B)70%および労務者10%の割合とし、建設のための人件費は建設費に含める。

上記外国人(A)とは、建設監督者をいい、人件費は給料・一般管理費およびAbsence feeとする。また、外国人(B)とは、建設労働者をいい、人件費は工賃・旅費・食費福祉費・保険料および税金とする。これは当該地域におけるプラント建設実績を基準としている。500千t設備の場合、52,893千ドルとなる。

7) 従業員の住宅は、二建階のアパートとし平均建設費は1㎡当り Tsh 2,990を基準とする。また従業員1人当り（1家族当り）の住宅基準面積は将来の生活向上とも考慮して100㎡とする。

上記基準の適用は次の通りとする。

チーフ・クラス	基準の20%増
一般従業員	基準通り
労務者	基準の20%減

8) エンジニアリング・フィー、プロセス・デベロプメント・フィー等については次の通りとする。

エンジニアリング・フィー、工事監督費	20百万ドル
開発費、ベーシックエンジニアリング・フィー	5 #

なお、開発費には外国に建設するパイロットプラントに関する費用を含め、その概要は次の通りとする。

生産能力	ソーダ灰 1 t / d
設備費用	1,167千ドル
運転所員人員	20人
原料クラフト	200 t
所要期間（建設期間および運転期間）	2ケ年

9) クラストの採掘方法については、今後検討すべき点もあるが、建設費の算出にあたっては一応 Dredger 工法を採用するものとする。

#### 5-1-2 工場設備建設費の算出

5-1-1に述べた前提条件に基づき、ソーダ灰年産規模250千t、500千tおよび1000千tの3つのケースについて、工場設備建設費を算出し、表5-1、2および表5-3に示す。

表 5 - 1 工場設備建設費

500,000 T/Y 生産設備とする。

(単位 \$ 10<sup>3</sup>)

	C I F	建設費	合計
(1) プラント関係	38,427	43,77	82,204
採掘工程	2,610	3,140	5,750
煨焼 "	11,980	13,520	25,500
精製 "	7,763	8,767	16,530
結晶 "	6,570	7,427	13,997
乾燥 "	5,180	6,027	11,207
篩分・貯蔵 "	4,323	4,897	9,220
(2) ユーティリティー	7,840	10,830	18,670
取水・冷水塔	1,843	4,830	6,673
パワープラント	5,997	6,000	11,997
(3) 付帯設備	1,197	1,616	2,813
(事務所・実験室・修理工場・倉庫)			
(4) 社宅(264戸)	—	9,503	9,503
(5) エンジニアリング・フィー他	25,000		25,000
Engineering & supermision	20,000		20,000
Process Development & Basie Engineering	5,000		5,000
(6) 総計	72,464	65,726	138,190

表5-2 プラントコスト

(単位 \$ 10<sup>3</sup>)

	250,000 t/y			1,000,000 t/y		
	C I F	建設費	計	C I F	建設費	計
(1) プラント	25,377	2,883	54,214	64,100	7,193	136,037
採掘工程	2,417	2,970	5,387	4,923	5,937	10,860
煅焼 "	6,773	7,654	14,427	21,007	23,713	44,720
精製 "	5,450	6,217	11,667	13,170	14,023	27,193
結晶 "	4,940	5,583	10,523	9,770	11,040	20,810
乾燥 "	3,020	3,267	6,287	8,237	9,317	17,554
篩分・貯蔵 "	2,777	3,146	5,923	6,993	7,907	14,900
(2) ユーティリティ	7,470	10,737	18,207	14,107	17,390	31,497
取水・冷水塔	1,583	4,857	6,440	2,270	5,563	7,833
パワープラント	5,887	5,880	11,767	11,837	11,827	23,664
(3) 付帯設備	1,090	1,500	2,590	1,353	1,790	3,143
(4) 社宅		7,773	7,773		12,907	12,907
(5) エンジニアリング・フィー プロセス, 開発費他	25,000		25,000	25,000		25,000
Engineering & supervision	20,000		20,000	20,000		20,000
Process development & basic engineering	5,000		5,000	5,000		5,000
(6) 総計	58,937	48,847	107,784	104,560	104,024	208,584



表 5-3 プラントコスト比較

	(単位 \$ 10 <sup>3</sup> )		
	250,000 t/y	500,000 t/y	1,000,000 t/y
精製プラント	54,213	82,203	136,037
ユーティリティ	18,207	18,670	31,497
付帯設備	2,590	2,813	3,143
社宅	7,773	9,503	12,907
エンジニアリングフィー プロセス開発費等	25,000	25,000	25,000
総計	107,783	138,189	208,584

5-1-3 20年償却後の設備更新費用について

別編総括編で検討される各種経済評価に於いては、本プロジェクトのライフを30年として考察されるが、プラント設備の機械的耐用年数は20年が限度であるため、設備の更新が必要となる。

日常保全が適確に実施されるものとする、設備更新の概要は下記のようなになる。

(1) 更新費用

500千トン設備 25 百万ドル

1,000千トン設備 33.3 百万ドル

250千トン設備は20年後にはないと見なし想定していない。

(2) 更新対象設備

採掘機器一式、バケットエレベーター、トラフチェンコンベヤー、ベルトコンベヤー、ファン、ポンプ、遠心分離機、分級機、計器一式、車輛(建設、保全用)、修理用機械類、

5-2 製造コスト

5-2-1 製造コスト算出の前提条件

製造コストを算出するに当り、ここでは、通常、企業における原価計算基準を採用し、製造開始後の設備建設費に対する金利は単利計算とする。さらに、減価償却は、総投資額を耐用年数で割り年間の償却額を算出するいわゆる定額法を最出する。したがって、ここでは長期間における年平均の製造コストが算出される。

その他の前提条件は次の通りである。

- 1) 原料タラストの評価額はゼロとする。

燃料は前章のユーティリティにおいて比較検討された結果に基づき、より経済的な重油を使用するものとし、その価格はタンザニア国内での公定価格 Tsh 600 / t を採用する。

- 3) 機械・諸設備の耐用年数は、実質的に使用可能な期間と考えられる20年とする。
- 4) 機械・諸設備の修理費や減価償却費等の算出基礎となる建設費は、前5-1-2で算出された建設費にその金利負担額を加えたものとする。
- 5) 工場運転要員については工場の稼動開始時までには、熟練労働者を育成し、工場はすべてタンザニア人により運転されるものとする。したがって、試運転開始時における外国人スーパーバイザーは8名で3年間滞在し、4年目以降は3名のみが残留するものとする。

この外国人スーパーバイザーの人件費は一般管理費に含める。

- 6) 労務費は、製造ラインの職長、運転員および労務者の人件費とする。その他の人員の人件費は一般管理費に含める。

これら人計費の賃金水準は、表5-4に示されるタンザニア国内のモデル賃金を採用する

- 7) プラントサイトにおける要員は、前4-4において述べたが、これをタンザニア国のモデル賃金体系にそって分類すると表5-5の通りである。

表5-4 タンザニア国モデル賃金体系

	モデル賃金	適用(500千t/y体制)
(1) Engineer		
(a) Chief	44,600 Fshr/y	Chief (Higene を含む) 5名
(b) Senior	36,000	
(c) Engineer	25,000	Engineer 24名 (General affairs, etc. を含む)
Average	36,000	
(2) Mechanics		
(a) Super intendent	33,000	
(b) Inspector	23,000	
(c) Foreman	14,000	Foreman 15名
Average	24,300	
(3) Artisan		
(a) Skilled artisan	8,800	Operator, etc. 173名
(b) Artisan	5,700	Guard & fireighting 11名

(4) Clerical	7,800	Clerical	7名
(5) Subordinate			
(a) Urban	4,600		
(b) Rural	2,800	Labour	29名
(6) Casual Labourers (Rural)			
(a) Daily paid	2,300		
(b) Labourers	2,800		

表 5 - 5 工場運転要員一覧表

	250千t/y	500千t/y	1,000千t/y
Chief (管理者)	5名	5名	5名
Engineer (技術者)	24名	24名	24名
Foreman (職長)	15名	15名	15名
Operator (工場運転員)	129名	173名	256名
Artisan (労働者)	11名	11名	11名
Clerical (秘書)	7名	7名	7名
Labour (労務者)	25名	29名	40名
合計	216名	264名	358名

#### 5 - 2 - 2 製造コストの算出

5 - 2 - 1 に述べた前提条件にもとづき、1つのケースとして、ソーダ灰年産500千tの場合における製造コストを算出し、その結果を表5 - 6に示す。また、年産250千tおよび1000千tの場合における製造コストも算出し、3つのケースにおける製造コストの比較を表5 - 7に示す。

表5-6 製造コスト(年産規模500千t)

	単位消費量 T/t	単 価 \$/t	消 費 額 \$/t	年間消費額 10 <sup>3</sup> \$/y
<b>変 動 費</b>				
1. クラスト	2.0			
2. 燃料油	0.2	73.5	14.7	7,350
3. ケミカルズ			6.3	3,140
小 計			21.0	10,490
<b>固 定 費</b>				
4. 労務費	職長 8名	14,000Tshr	0.3	163
5.	運転費 129名	8,800 "		
	労務者 29名	2,800 "		
5. 修 理 費	プラント建設費×3%/y		10.4	5,188
6. 減価償却費	プラント建設費×1/20		17.3	8,647
7. 税金・保険料	プラント建設費×2%/y×1/2		3.5	1,729
8. 設 備 金 利	プラント建設費×10%/y×1/2		17.3	8,647
9. 運 転 金 利	想定販売価格10%/y×1/4		2.0	1,000
10. 一般管理費				
	{ 人件費 管理部門人件費 98名		0.4	175
	{ その他 生産コスト×5%/y		3.8	1,900
小 計			55.0	27,449
合 計			76	37,939

表 5-7 生産規模別製造コスト

	250千t/y		500千t/y		1,000千t/y	
	単価 \$/t	年間消費額 10 <sup>3</sup> \$/y	単価 \$/t	年間消費額 10 <sup>3</sup> \$/y	単価 \$/t	年間消費額 10 <sup>3</sup> \$/y
原 燃 料	21.0	5,246	21.0	10,490	21.0	20,983
労 務 費	0.5	126	0.3	163	0.2	236
修 理 費	16.7	4,184	10.4	5,188	7.5	7,511
減価償却費	27.9	6,974	17.3	8,647	12.5	12,519
税金・保検料	5.6	1,395	3.5	1,729	2.5	2,504
設備金利	27.9	6,974	17.3	8,647	12.5	12,519
運転金利	2	500	2	1,000	2	2,000
一般管理費						
{ 人件費	0.7	163	0.4	175	0.2	196
{ その他	5.4	1,346	3.8	1,900	3.1	3,074
合 計	107.7	26,908	76	37,939	61.5	61,542

### 5-3 総合的考察

工場設備（金利を含む）の必要投資額、製造コスト年間運転費用および所要人員についての生産規模別比較を表5-8に示す。

- 1) 建設費に対する金利を含めた工場設備の建設総費用は、年産規模500千tの場合でも、173百万ドルと巨額となる。  
製品1t当りの建設投資額は、年産1,000千tの場合250ドル、500千tの場合、346ドル、250千tの場合558ドルとなり、生産規模が大きい程投資効率は良い。
- 2) 建設費用が巨額であるため、減価償却費、設備金利および修理等固定費の製造コストに占める固定費の割合が高くなる。
- 3) したがって、上記のように製造コストに占める固定費の割合が高くなる場合には投資された設備をいかに有効に利用するかが重要である。ちなみに、操業率を10%ダウンして90%とした場合製造コストは4ドル、5.2%（年産500千tの場合）もアップする。さらに操業率が低い場合には、操業率の製造コストに及ぼす影響は大きくなる。操業率の変動と製

造コストの関連については表5-9および図5-1に示す。

4) さらに、建設費の変動も製造コストに及ぼす影響も大きい。すなわち、5-1-2で算出された建設総費用を10%圧縮することが可能であれば、製造コストを4.8ドル、6.3%（年産500千tの場合）も圧縮することができる。

建設費用の変動と製造コストの関連については表5-10および図5-2に示す。

表5-8 プラントコスト、製造コスト総合比較表

	250千t/y 生産体制	500千t/y 生産体制	1,000千t/y 生産体制
プラントコスト (10 <sup>3</sup> \$)	139,462	172,909	250,343
{ プラントコスト 金 利	107,788	138,189	208,584
	31,679	34,720	41,759
生産コスト (\$/t)	107.7	76	61.5
運 転 費 (10 <sup>3</sup> \$/y)	11,065	17,916	23,000
所 要 人 員 (名)	216	264	358

表5-9 操業率と製造コストの関連

	250千t/y 体 制	500千t/y 体 制	1,000千t/y 体 制
操 業 率			
100%	107.7	76	61.5
90	115.2	80	63.9
80	125.2	85.6	67.4
70	138.7	93.3	72.6
60	157.1	104.3	80.1
50	183.9	120.5	91.5
40	225.2	145.9	109.7
30	295.3	189.6	141.3
20	437.7	279.2	206.7
10	869.1	552.1	407.1

図 5 - 1 操業率と製造コストの関連

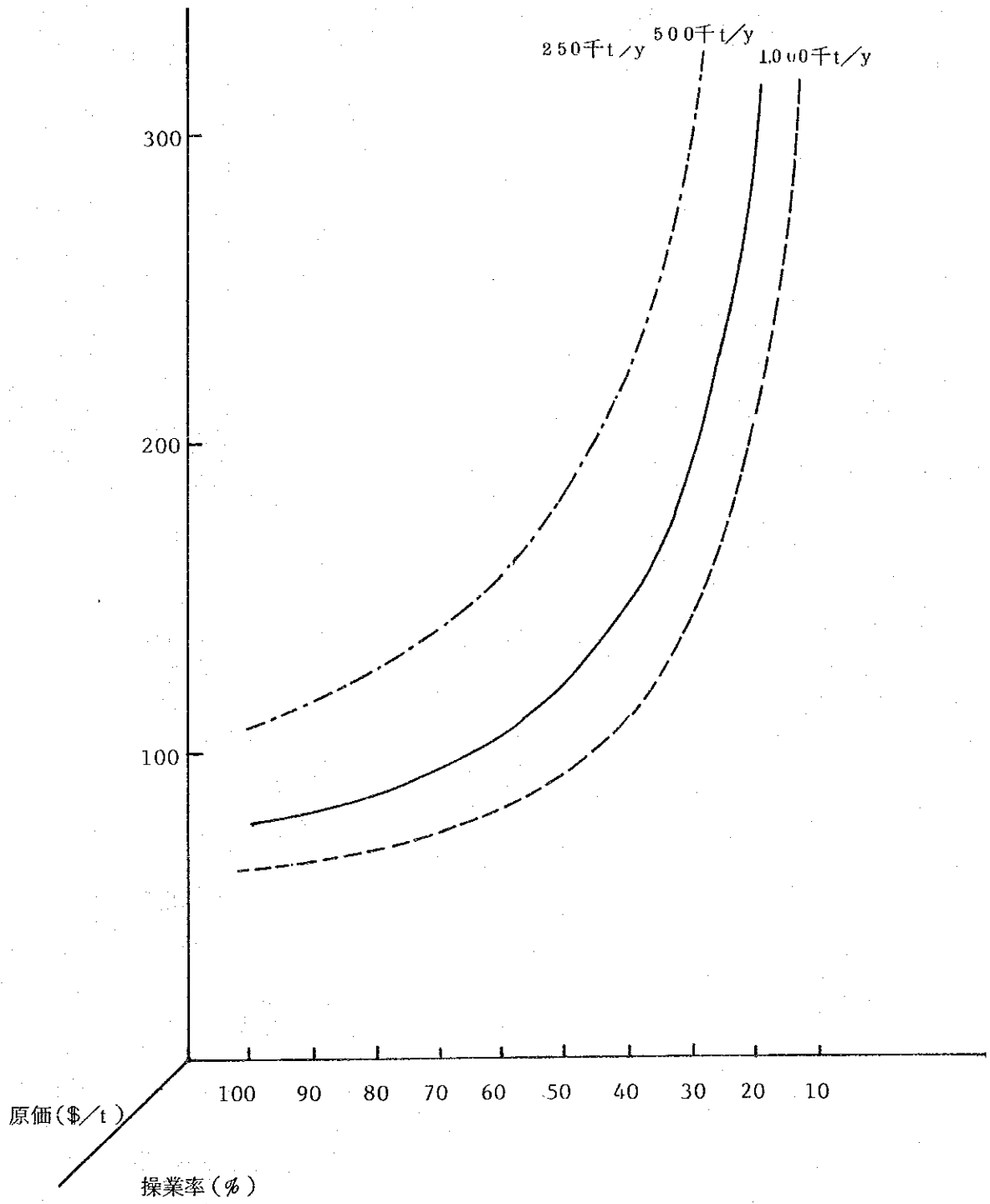
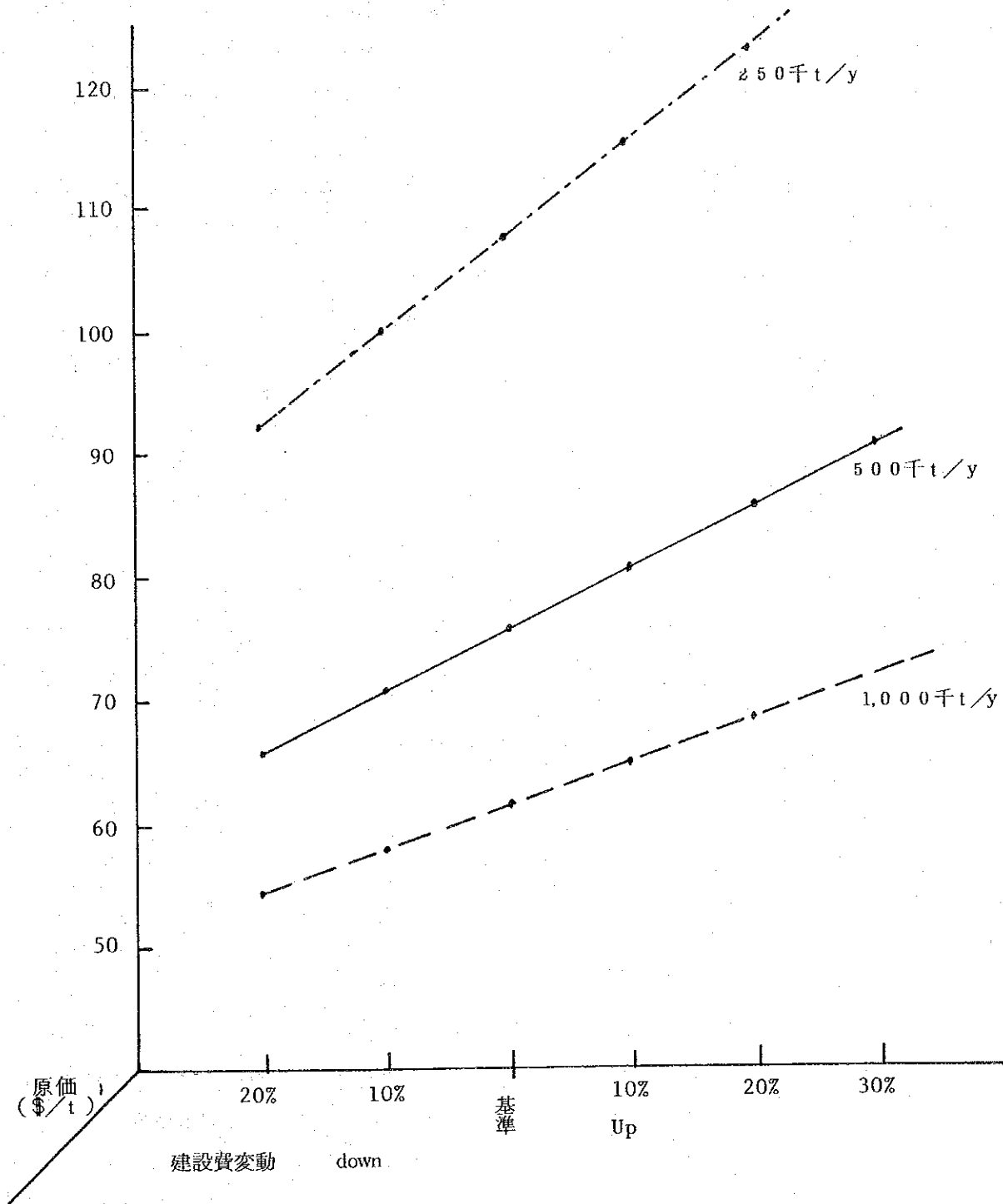


表 5 - 10 建設費の変動と製造コストの関連

	250千t/y	500千t/y	1,000千t/y
建設費用 10 <sup>3</sup> \$	139,462	172,909	250,343
20% down	92.1	66.3	54.5
10% down	99.8	71.2	58
予定通り	107.7	76	61.5
10% up	115.5	80.9	65
20% up	123.3	85.7	68.5
30% up	131.1	90.6	72



図 5 - 2 建設費の変動と製造コストの関連





## 第6章 需要動向と価格

### 6-1 ソーダ灰の生産量

#### 6-1-1 世界におけるソーダ灰生産量の推移

世界のソーダ灰の生産は毎年増加しているが、その伸長率は近年鈍化の傾向にある。これは石油危機を契機として、とくに工業化水準の高い地域において、ガラス製造、化学工業用などソーダ灰消費の過半数を占める需要が著しく低下したためである。

ソーダ灰についての全世界における完全な統計はないが、表6-1に1965年から1973年に至る国連における統計を示す。なお、この表ではさらにOECDによってまとめられた統計をも参考に一部を補足した。

しかし、上述の統計には多くの生産量不明部分と、ソーダ灰の生産国である韓国、中国、イラン、イギリス、ベルギー等についての記載がないなど、全世界生産を表わしているものではないことが明確である。しかし一方において1970年の世界ソーダ灰生産量について比較的信頼できる推測として表6-2のように示されている。

表6-2 1970年のソーダ灰世界総生産量推定

(単位:  $10^3$  t)

日本およびアジア	1,800
西 欧	5,880
ソ連および東欧	5,910
北 米	6,430
中 南 米	520
ア フ リ カ	160
その他(上記各地域に属するもの)	1,500
合 計	22,200

ここで世界各地におけるとくに多量生産国である代表的な数か国について表6-3により生産推移を考察してみる。

表6-3に掲げる国々によってもたらされるソーダ灰の生産量は、前述各表によって明らかのように世界総生産の70数%を占めている。そしてまた、1965年から1970年の5年間に於ける年間平均伸長率が3.9%であり、その後の3年間では3.3%であることを示してい

表6-1 ソーダ灰の世界生産量

(単位: 10<sup>3</sup> t)

国名	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
日本 <sup>※1</sup>	763	806	877	1,018	1,170	1,237	1,285	1,307	1,363
台湾	17	29	36	35	38	43	N.A	N.A	N.A
インド	322	350	359	396	422	446	479	486	470
パキスタン	34	32	32	58	63	68	78	77	74
ベルギー	237	258	271	276	282	321	350	N.A	N.A
デンマーク	3	3	3	2	2	2	1	1	1
フランス	1,089	1,126	1,084	1,127	1,330	1,419	1,421	1,466	1,529
西ドイツ	1,165	1,190	1,158	1,275	1,327	1,334	1,351	1,397	1,422
ギリシャ	1	1	1	1	1	N.A	N.A	N.A	N.A
イタリア	563	594	674	669	660	662	664	N.A	N.A
オランダ	142	134	161	176	197	224	241	258	257
ノルウェー	27	27	27	24	26	25	21	20	※2 19
ポルトガル	26	30	32	39	40	88	97	128	※2 141
スペイン	224	232	245	267	315	333	444	374	441
スウェーデン	1	1	1	1	1	1	1	1	N.A
ブルガリア	223	226	218	225	265	300	301	291	247
チェコ	63	66	76	86	99	104	114	120	122
東ドイツ	682	657	624	635	606	676	714	721	780
ポーランド	602	609	615	624	628	644	669	709	710
ルーマニア	350	370	384	471	595	582	601	665	677
ソ連	2,728	2,815	3,011	3,128	3,289	3,485	3,629	3,850	4,149
ユーゴ	93	94	98	100	109	113	105	117	129
アメリカ(合成)	4,238	4,425	4,180	3,972	3,844	3,859	3,745	3,792	3,331
※3(天然)	N.A	N.A	N.A	N.A	2,545	2,560	2,736	2,957	3,514
ブラジル	75	94	92	100	106	N.A	N.A	N.A	N.A
チリ	10	10	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
コロンビア	21	20	28	20	52	N.A	N.A	N.A	N.A
メキシコ	122	140	225	288	316	316	319	347	382
ケニア	83	112	105	117	103	160	161	164	206
合計	13,877	14,451	14,617	15,130	18,431	19,002	19,527	19,248	19,964

注: 国連統計 (United Nations Statistical Yearbook) による。但し下記を除く。

※1 日本国統計

※2 OECD統計 (The Chemical industry - OECD)

※3 OECD統計から国連統計の合成ソーダ灰を差引いた数値

表 6-3 多量生産国の生産量

(単位: 10<sup>3</sup>t)

国名	年	1965	1970	1973
日本		736	1,237	1,363
インド		322	446	470
フランス		1,089	1,419	1,529
西ドイツ		1,165	1,334	1,422
東ドイツ		682	676	780
ポーランド		602	644	710
ルーマニア		350	582	677
ソ連		2,728	3,485	4,149
アメリカ	※	5,743	6,419	6,845
合計		13,417	16,242	17,945

※ 推定値

る。

以上の考察の結果から、過去の推移は一樣ではなく、変化を伴っていることを知ることができ、世界全生産国による総生産の伸長率は、1970年以前においては大凡4%であり、それ以降は約3%であると推定できよう。

すなわち、1970年をベースにして、上記伸長率に基づき1965年および1973年の世界総生産量を推定すれば、

1965年	18,240	10 <sup>3</sup> t
1970年	22,200	"
1973年	24,260	"

となるが、これは1965年から1973年までの9年間平均伸長率が3.6%であったこととなる。

上記に基づきさらに他の情報をも参考にして1973年の国連統計を補完した結果は表6-4のごとく推測される。

#### 6-1-2 現在のソーダ灰総生産量の推定

1974年には、石油危機によるエネルギー価格高騰が生じたため、後半において著しいソーダ灰の生産減少を派生した。生産量についての各国の報告は、現在のところ非常に少ないが一部の情報によれば日本、フランス、西ドイツおよびアメリカ等の伸長率は表6-5のごとく

表 6 - 4 1973年のソーダ灰国別生産量

(単位 10<sup>3</sup> t)

日 本	1,368	※スウェーデン	1
※台 湾	45	ブルガリア	247
※韓 国	100	チ エ コ	122
※中 国	1,100	東 ド イ ツ	780
イ ン ド	470	ポーランド	710
パキスタン	74	ルーマニア	677
イ ラ ン	15	ソ 連	4,149
※ベルギー	400	ユ ー ゴ	129
デンマーク	1	アメリカ(合成)	3,331
※イギリス	1,550	(天然)	3,514
フ ラ ンス	1,529	※ブラジル	110
西 ド イ ツ	1,422	※チ リ	10
※ギリシャ	2	※コロンビア	60
※イタリア	700	メキシコ	382
オランダ	257	ケニア	206
ノルウェー	19	※そ の 他	203
ポルトガル	141	※合 計	2,4260
ス ペ イ ン	441		

※ 推定値

表 6 - 5 1974年におけるソーダ灰  
生産量および対前年比伸長率

	生 産 量		伸長率
日 本	1,327	千 t	-2.64%
フ ラ ンス	1,564	〃	2.29%
西 ド イ ツ	1,456	〃	2.39%
ア メ リ カ	6,850	〃	0.07%