

**カメルーン国ニオス湖ガス災害に関する
国際緊急援助隊専門家チーム調査報告書**

昭和61年10月

**国際協力事業団
医療協力部**

医 業

J R

87-01

**カメルーン国ニオス湖ガス災害に関する
国際緊急援助隊専門家チーム調査報告書**

JICA LIBRARY



1064045[6]

昭和61年10月

**国際協力事業団
医療協力部**

国際協力事業団		
受入 月日	'87. 6. 12	505
登録 No.	16547	90.7
		MCS

序 文

本年8月21日夜、カメルーン北西部バメンダ州ニオス湖で発生した火山性有毒ガスによりニオス湖周辺の村を中心に多数の死傷者がでた。

日本国政府は、カメルーン政府の要請に基づき国際協力事業団を通じて事前調査団2名さらに外務省経済協力局技術協力課青山利勝氏を団長とする専門家調査団7名を現地に派遣した。

調査団は、カメルーン国政府関係者と協議を行なうとともに、被災地域において地球化学的見地及び医学的見地から調査し、あわせて有毒ガス警報装置の設置の可能性を調査した。帰国後現地において収集した資料の分析を行ないここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が、今後カメルーン国政府が実施する政策の一助となりカメルーン国民特に被災地域住民に役立ち、ひいては両国の友好・親善の一層の発展に寄与することを願うものである。

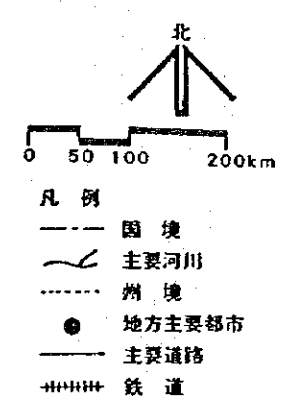
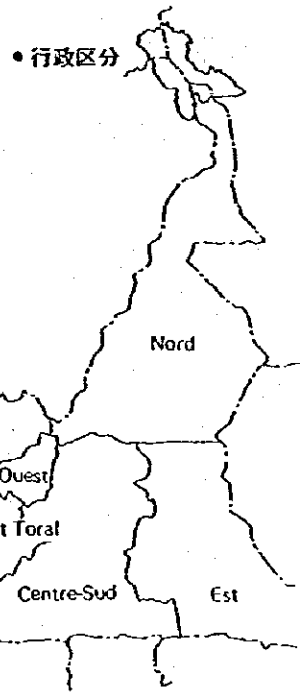
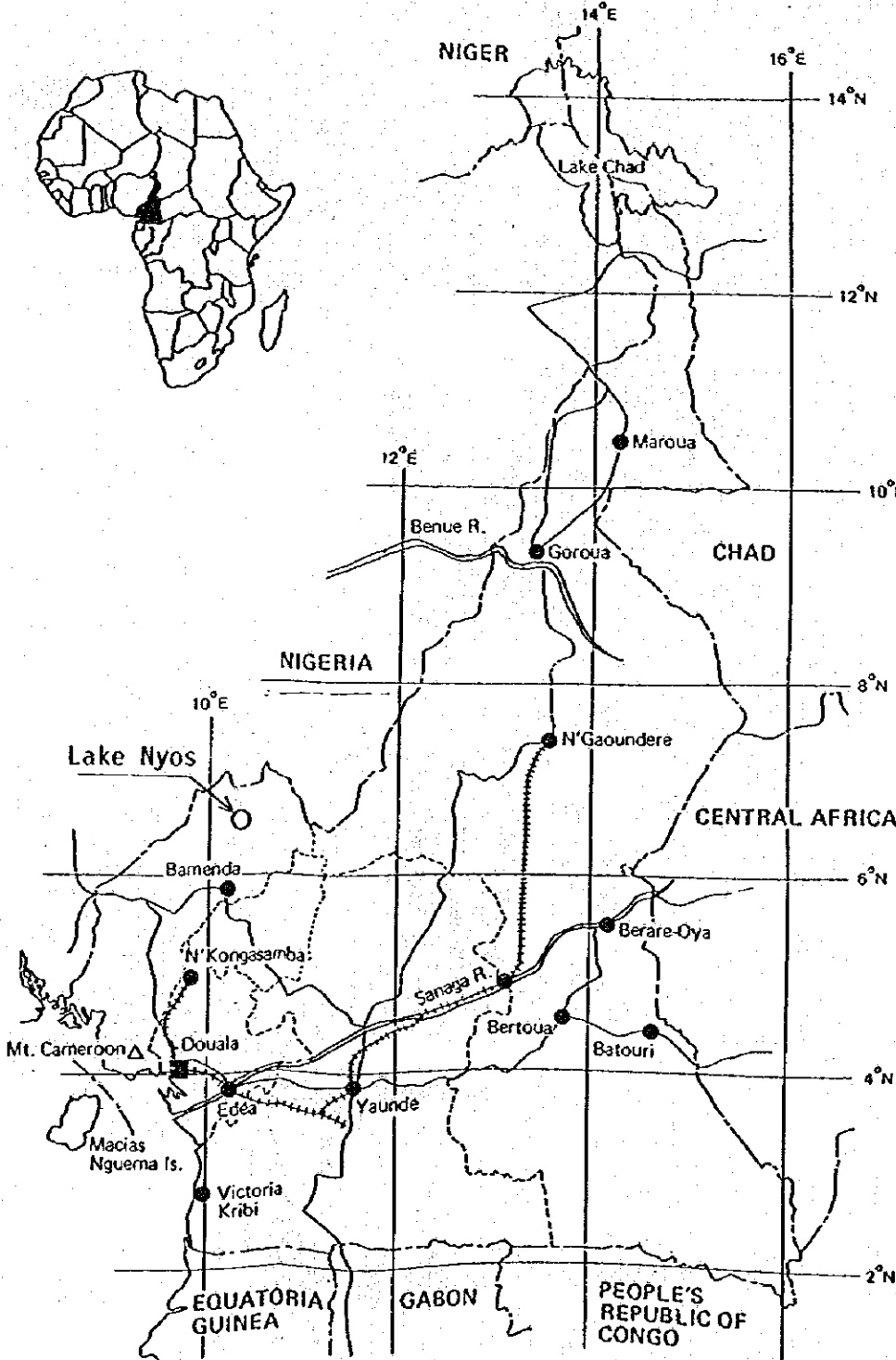
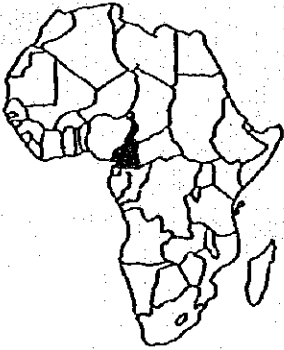
終りに、本件調査にご協力とご援助をいただいた関係各位に対し、心より感謝の意を表するものである。

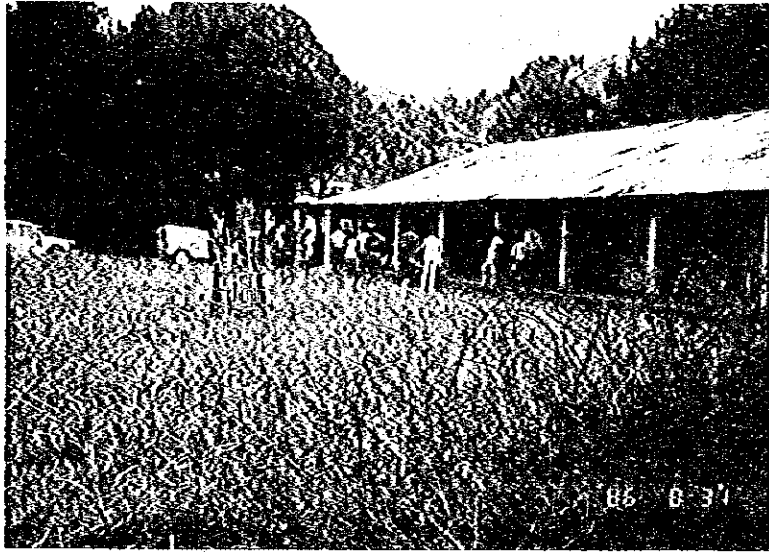
昭和61年12月

国際協力事業団

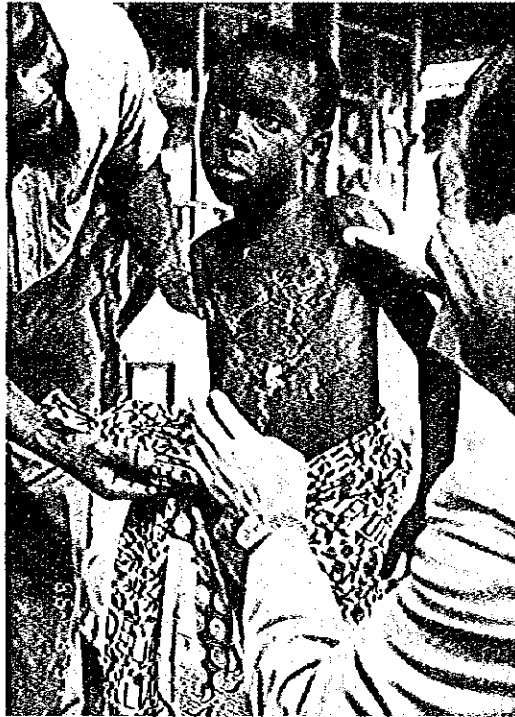
理事 末永 昌介

カメルーンの概要図

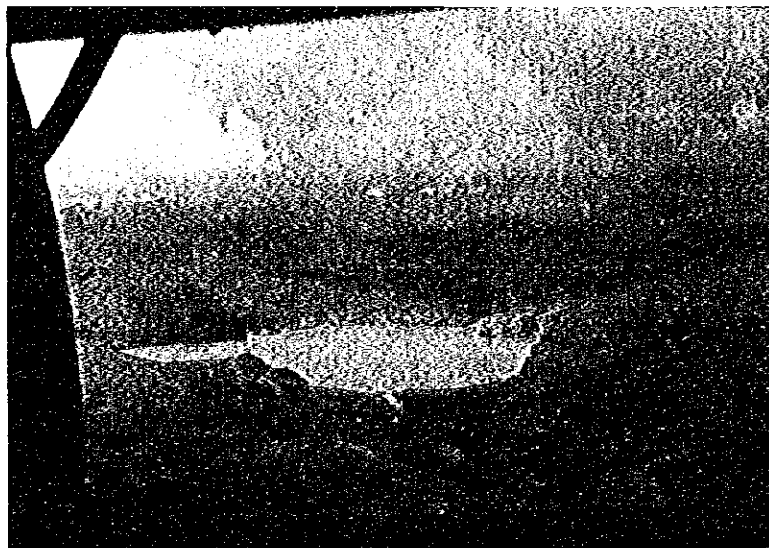




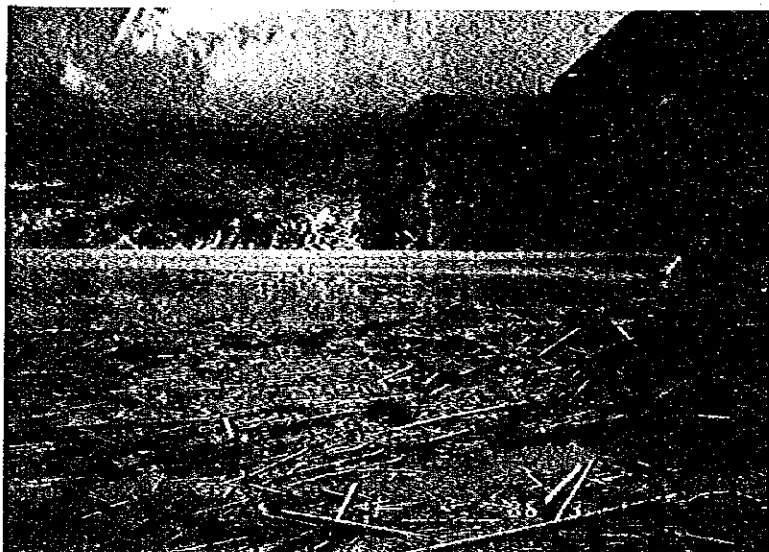
被災者が収容されているウム総合病院



ウム総合病院に入院していた少年（化学熱傷が生々しい）



上空から撮影したニオス湖の全景



災害発生後のニオス湖面の状態



ヘリコプター上空から撮影した被災地風景



被災現場においては、多数の牛が死んでおり
災害のすごさを如実に示している

目 次

1. 調査団の派遣	1
1-1 調査団派遣の経緯と目的	1
1-2 調査団員の構成	1
1-3 調査日程表	2
1-4 面談者リスト	3
2. 要約	5
2-1 災害発生の概要	5
2-2 調査報告の要約	6
3. 地球化学的調査報告	8
3-1 カメルーン西北部の火山活動	8
3-2 ガス突出事故の経緯と状況	9
3-3 地球化学的調査結果と解釈	10
3-4 考察と今後の問題	14
4. 医学的調査報告	27
4-1 臨床学的見地から見た患者の病態と有毒ガスの本体について	27
4-2 剖検症例の病理学的所見	31
4-3 組織抽出液中の硫酸イオンの分析	34

第 1 章 調査団の派遣

1-1 調査団派遣の経緯と目的

本年8月21日夜、カメルーン北西部バメンダ州に位置するニオス湖から火山性有毒ガスが噴出した。このガスによりニオス湖周辺の村を中心に多数の住民が死傷し、天然の有毒ガスによる災害としては最悪の状況となった。

このため、カメルーン政府は、24日ニオス湖一帯を災害地域に指定するとともに国際的救援を求める声明を発表した。

これに基づき外務省は、国際緊急援助隊の同国への派遣につき在ガボン日本大使館を通じ同国政府の受入れ要請の有無を確認した。その結果、8月26日カメルーン政府は日本政府に対し緊急援助を要請してきたため外務省は、同日国際緊急援助隊の派遣を決定した。

同援助隊は、国際協力事業団派遣の医療協力調査団でガーナに滞在中の医師及びJICA職員からなる事前調査団、さらに外務省経済協力局技術協力課 青山 利勝氏を団長に火山学、警報装置及び救急医学の専門家から構成される7名の専門家調査団からなり、その目的は、(1)有毒ガスによる被災状況の把握、(2)カメルーン政府側の援助要請内容の確認、(3)現地調査を実施し火山及び医学的見地から今回の有毒ガスを特定するとともに第二次災害防止のための有毒ガス測定装置、警報装置の設置可能性調査、(4)医薬品等の効果的な供与等であった。

同援助隊は、所期の目的を達成し、事前調査団は9月3日にまた専門家調査団は9月6日に帰国した。

1-2 調査団員の構成

(1) 事前調査団 : 派遣期間 1986年8月28日～9月3日

団員 現地状況調査 神谷 斉 三重大学医学部教授

“ “ 堀内 晴美 JICA医療協力部医療協力課

(2) 専門家調査団 : 派遣期間 1986年8月27日～9月6日

団長 企画調整 青山 利勝 外務省経済協力局技術協力課

団員 火山化学 日下部 実 岡山大学地球内部研究センター教授

“ 救急医学 山本 保博 日本医科大学救命救急センター助教授

“ 火山学 平林 順一 東京工科大学工学部無機材工学科助手

“ 酸素マスク指導 佐藤 信勇 東京消防庁警防部救助課係長

- " 警報装置
- " 業務調整

小山 純二 光明理化学工業(株)研究第二部長
 高木 繁 JICA医療協力部医療特別業務室長代理

1-3 調査日程表

(1) 事前調査団

日順	月	日	曜日	移動及び業務
第1日	8.	27	水	22時20分 NT901 アクラ
2日		28	木	ラゴス 0時10分 NT950 ラゴス → ドゥアラ 在日本大使館員及び現地商社より現地事情聴取
3日		29	金	保健省州代表より被災状況聴取
4日		30	土	陸路 ドゥアラ → ヤウンディ → 陸路 → ドゥアラ ヤウンディ大学病院医師から現地事情聴取
5日		31	日	UNDP関係者から現地事情聴取
6日	9.	1	月	21時5分 SN373
7日	9.	2	火	ブリュッセル 6時15分 SN261
8日	9.	3	水	東京

(2) 専門家調査団

日順	月	日	曜日	移動及び業務
第1日	8.	27	水	21時30分 JL425 東京
2日		28	木	パリ 12時15分 UY077 パリ → ドゥアラ 在日本大使館員及び現地商社より現地事情聴取
3日		29	金	団長 陸路 ドゥアラ → ヤウンディ 団員 陸路 ドゥアラ → バメンダ
4日		30	土	団長 外務大臣、災害対策本部 UNDP代表表敬及び協議 団員 西北部州総督表敬及び協議 ウム対策本部表敬及び協議 ウム周辺調査
5日		31	日	団長 陸路 ヤウンディ → バメンダ 団員 ヌカンベ総合病院視察
6日	9.	1	月	ハコナ バメンダ → ウム 陸路 → バメンダ 被災地(ニオス湖) 現地調査
7日		2	火	バメンダ → ウム 陸路 → バメンダ 現地調査
				バメンダ → ヤウンディ 在ガボン柿沼大使に 調査結果報告

				陸路	
8日	3	水	ヤウンデ	—— ドゥアラ	災害対策本部長（国土行政大臣）及び国防大臣に現地調査結果報告
9日	4	木	10時30分 UT708	ドゥアラ —— パリ	
10日	5	金	13時15分 JL440	パリ ——	
11日	6	土		—— 東京	

1-4 面談者リスト

WILLIAM ETEKI MBOUMOUA	外務大臣
JEAN MARCEL MENGUEME	災害対策本部長（国土行政大臣）
JEROME EMILIEN ABONDO	国防大臣
WALSON MBOE NTUBA	西北部州総督
FRANCIS FAI YENGO	ウム対策本部長
NJINJO	ウム総合病院医師
PISO	“
GEORGE FOTOK NGUFOR	ヌカンベ総合病院長
DR. KAOJI SIMON	厚生省 LITTORAL 地区責任者
DR. SIMO MOYO	THE UNIVERSITY TEACHING HOSPITAL 麻酔学科主任
柿 沼 秀 雄 大 使	在ガボン日本大使
大 竹 庄 治 書記官	在ガボン日本大使館 三等書記官
小 林 正 雄 書記官	在ザイール日本大使館 二等書記官

第2章 要約

1986年8月21日、カメルーン国西北部NYOS湖の周辺において火山ガスの噴出が原因とみられる自然災害の発生後、日本政府は、災害の被害規模の空前の大きさから国際緊急援助の必要性があると判断され、ビヤ大統領が、国際社会に行った緊急援助要請に応え、外務省職員（団長）、火山学者（2名）、医師、酸素呼吸器使用指導専門家、警報装置専門家、国際協力事業団職員から成る7名の国際緊急援助隊専門家チームを、国際協力事業団を通じ、8月27日から～9月6日まで派遣した。右専門家チームは、幅広い観点からカメルーン側の緊急援助のニーズを把握するとともに、災害の原因について、地球化学的見地及び医学的見地から調査し、併せて有毒ガス警報装置の設置の可能性を調査した。更に専門家チームは、有毒ガス測定器、防毒マスク、酸素呼吸器、医薬品、テント、食糧品、毛布等の緊急援助物資を携行し、カメルーン側に寄贈した。

専門家チームは、カメルーン国において、1986年8月28日から9月4日まで活動を行ない、特に8月29日から9月2日までのバメンダ市滞在中、（団長のみヤウンデ市経由8月31日一行と合流）、ニオス湖（9月1日）、ウム湖（8月30日）の現地調査及び、ウム総合病院（8月30日）、ンカンベ総合病院（8月31日）の視察を行い、地球化学的見地及び医学的見地から災害原因を究明するために必要な標本サンプルを採取するとともに、警報装置の設置に必要な地形的検証を行った。

2-1 災害発生の概要

災害発生の状況について現地での調査結果及びこれまでに得られた情報をまとめると次のようになる。

発生日時 1986年8月21日21時頃

発生場所 NYOS湖

カメルーン国西北部 WUM 地区

東経10°18'、北緯6°26'

海拔約 1200m

発生形態 ガス噴出

被災地 Nyos村

NYOS湖の北約3kmの谷筋に位置する。

死者 約1200名、生存6名

Cha 村

NYOS湖の西北西約7kmの谷筋に位置する。

死者 52名

Subua 村

NYOS湖の北東約10kmの谷筋に位置する。

死者 約300名

Fang, Koskin, Missong の各村

NYOS湖の北約13~20kmの谷筋に位置する。

死者 23名

これら被災地は全て発生場所のNYOS湖からみて谷筋に位置している。このことから被災した各村は空気に対し比重の重いガスの流路及び滞留場所になることが充分考えられる。

2-2 調査報告の要約

専門的見地からの詳細な調査報告は、統計資料とともに第3章~第5章で述べてあるが、ここでは、その要約を平易にまとめることとする。

(1) ニオス湖畔でガス測定を行った結果、湖面直上5cmでは炭酸ガス(CO_2)濃度が、通常大気の約4倍であり、異常値を記録した。このことは、今なお湖水中から炭酸ガス(CO_2)の逃散が続いていることを意味している。ニオス湖の流れ出し地点で採取した表面水の溶存イオン分析を行った結果、Kum湖の表面水に比べて全炭酸(ΣCO_2)濃度が非常に高く、その他、アンモニウム・イオン(NH_4^+)、カルシウム・イオン(Ca^{2+})、マグネシウム・イオン(Mg^{2+})、硫酸イオン(SO_4^{2-})の濃度が高いことが判明した。全炭酸濃度が非常に高いのでNYOS湖水に何らかの形で炭酸物質が加えられたことを推定させる。

(2) NYOS湖から噴出した二酸化炭素の起源としては、(a) 湖底に堆積した植物等の分解 (b) 石炭岩の分解により生じた炭酸ガス、(c) 地球深部から由来する火山性二酸化炭素の供給、が考えられる。上記同位体比の測定値から推定すると、ガス突出以前にNYOS湖に溶けていた全炭酸物質は火山性の炭酸ガス(CO_2)を起源とする考えが受け入

れ易い。

- (3) 沈着していたこの物質を採取し、分析した結果、水酸化第2鉄 ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) であることが判明した。多量の鉄がイオンとして溶解しているためには、湖水の深層が無酸素で大気との物質交換がないことが条件として必要であり、ガス突出以前のNYOS湖は、湖水が成層構造を保ち、このことが二価鉄イオンの存在を可能にし、同時に多量の溶存炭酸を封じ込めたままにしていたと考えられる。
- (4) ガス突出がNYOS湖から起こったことから、湖水の化学組成に災害原因の証拠を求めようとする我々のアプローチからは、災害の主因は、大量の二酸化炭素 (CO_2) の放出であるとするのが、データに最も忠実な解釈である。また、今次災害が天然現象であることから、生存者の証言、症状及び天然に存在するガス成分に関する常識から判断して、硫化水素 (H_2S)、二酸化硫黄 (SO_2) が存在していたことも否定できない。
- (5) また、調査団は、ウム総合病院において、被災死亡患者の解ぼう回診調査及びスカンベ総合病院において回診調査を行なった。特に、解ぼうにより皮膚、内臓の一部を切除し、標本サンプルとして日本に持ち帰り、皮膚及び各臓器の組織分析を行った。上記2病院での回診調査による臨床学的見地からは、熱性ガスではない火山性有毒ガスが炭酸ガスに混じって噴出し、即死患者は、炭酸ガスによる酸欠、この時期を乗りこえた患者は、大量の炭酸ガスに混じって噴出されたその他の有毒ガスによる化学性肺臓炎からの肺水腫あるいは化学熱傷、化学性結膜炎、筋肉浮腫等を惹起したものと推察される。また、イオンクロマトグラフによる硫酸イオンの測定では、各臓器の標本サンプルの硫酸イオン濃度は、皮膚以外で対照よりも高値を示し、硫酸イオンについての個体差、人種差等の問題点はあるものの、死体所見を考慮に入れると、含硫ガスに犯された可能性も否定できない。
- (6) NYOS湖及び国内の他の火山湖で今後同種のガス噴出が起きる可能性を事前に予知し災害を未然に防ぐ助けとなりうるため、科学的手段を用いて二酸化炭素等の有毒ガスの湖底での蓄積速度、濃度の変化を定期的に測定し、また地震、地すべり等の地形的変動によりガス突出の危険が発生する可能性を予知することは技術的には可能とみられるが、かかる早期警報システムを設置し、かつこれを有効に活用するためには、なお多くの問題が検討され解決される必要がある。

これらの問題の中には、

- 1) 関係地域の詳細な地形的検証とともに、今次災害の要因と考えられる二酸化炭素等

の有毒ガスの湖底での蓄積速度やどの程度の濃度がガス突出の「臨界点」であるのか、また地震、地すべり等の地形的変動がガス突出の「きっかけ」としてガスの濃度などの程度の影響を及ぼすかについて学術的知見が得られること。

- 2) カメルーン政府が、ニオス湖その他の火山湖周辺の谷筋に位置する村落を放棄することなく、再定住 (Resettlement) を推進する政策的判断をもっていること。
- 3) 湖底のガス濃度が高まり、早期警報システムから警報が発せられた場合、村落民の避難場所、避難路、避難方法等の避難体制の設定と常時の避難訓練が実施可能であること。
- 4) 早期警報装置の適正な保守、技術確保が可能であること、等が含まれる。

これらの問題の解決は、カメルーン政府及び問題解決に協力する用意のある諸外国による幅広い国際協力に基づくことが望ましい。

第3章 地球化学的調査報告

3-1 カメルーン西北部の火山活動

ガス突出事故が起こったのはカメルーン西北部のBamendaの北方約60kmのNyos湖である(図1のX印の地点)。図1に示すように、西アフリカでは大西洋からカメルーン西北部を通る火山帯があり、その中にはMacias Nguema 島や活火山であるMt. Cameroon が存在する。今回のガス突出災害の場となったNyos湖およびその周辺地域はこの火山帯上に位置している。図2は Bamenda-Wum - Nyos地域の拡大図である。この地域にはかつての火山活動によって生じた火口湖が数多く存在し、図2が覆う60x90kmの範囲内に目を数えることが出来る。Bamendaの南東60kmにあるMonoun湖では1984年に小規模ながら、今回と非常によく似たガス突出災害が起こった(Sigurdsson et al, 1986)。Monoun湖周辺にも多くの小さな火山や火口湖が点在する。

この地域の火山活動の詳細については未知であるが基盤岩は先カンブリア紀の花崗岩であり、その上を始新世以後第四紀に至るまでの火山活動に伴う台地玄武岩(flood basalt)などが覆っているという。またBafoussam 付近にある台地玄武岩の噴出年代は3800万年前であるというデータがある(F. M. Tchoua, Yaounde 大学地質学教授, 私信)。今回のガス突出の場であったNyos湖周辺には、火口を形成した時の火山噴火により放出されたと思われる噴出岩塊がスコリア堆積物上に多く見られたので、我々はそれらを採取し若干の岩石学的検討を行った。図3に示した噴出岩塊はペリドタイトノジュール(peridotite nodule)を捕獲岩として含む玄武岩である。薄片を顕微鏡下で観察すると、この玄武岩は、(1)非常にガラス質であり斑晶が少ない、(2)微斑晶としてカンラン石と斜長石を含む、(3)外来結晶としてペリドタイト起源のカンラン石および輝石を、そして基盤の花崗岩起源の石英およびカリ長石を含む(高橋栄一, 私信)。したがって微斑晶や外来結晶を取り除いて玄武岩だけの全岩組成を測定することはかなり困難であるが、このことを承知した上で粉末試料をガラス化し、EPMA法およびXRF法により全岩組成を分析した(表1)。両法による分析結果は良く一致している。また、比較的大きな外来結晶を取り除いても全体の組成に有意な変化は認められなかった。この玄武岩は組織上 Al_2O_3 と TiO_2 が多く、 Na_2O や K_2O に乏しい特徴をもち、岩石学的には比較的未分化の高アルミナ玄武岩と見なすことができる(高橋栄一, 私信)。表1には参考のために

東アフリカの地溝帯に特徴的に産出するアルカリ岩の組成を載せた。これらのアルカリ岩はアルカリやCaO含量が極めて高く、またそのもとになったマグマからは大量の揮発性物質、中でもCO₂を多く発散することが知られているが、岩石の化学組成から判断する限り、Nyos湖の下部で活動したマグマは東アフリカの地溝帯のアルカリ岩マグマとは全く異なるものと言うことができる。なお、Nyos湖の玄武岩は非常に新鮮であり、また捕獲岩であるペリドタイトの酸化も進んでいないことから、噴出年代は極めて新しいと推定される。

3-2 ガス突出事故の経緯と状況

この地域は通信手段および交通事情が悪いために、事故発生の連絡やその後の情報伝達に混乱が見られた。生存者の証言および事故直後に被災地に入った人々の談話に関する新聞報道等を総合すると、ガスの突出はNyos湖からであり、発生日時は1986年8月21日21時頃であった。前兆として言われているものに(1)2~3週間前からNyos湖が泡立ちガスが噴出していた、(2)8月21日16時頃、音とともにNyos湖から白い煙のようなものを見た人がいる、(3)20時頃に再び音を聞き、(4)21時頃、更に3回の連続音を聞いた、などがある。音の種類としては“ドカン”という爆発音、雷鳴のような音、あるいは“シュボ”という音などがあり、混乱のためかあまり一貫性があるようには思われない。また地震や地鳴りがあったという証言はない。

被災状況は次の通りである。9月9日現在外務省が入手している情報では、死者約1800名(UNORO発表では1734名)、負傷者400~500名、何らかの影響を受けたもの25,000~30,000名である。死者の分布はNyos村で約1200名(生存者6名)、Subum村で約300名、Cha村で52名、Missong, Koskin, Fang村で23名等である。家畜の被害は7000頭を超えるという。このような被害状況をもとに、Nyos湖から噴出したガスは図2に示した矢印の向きに谷地形に沿って進んだと推定される。Nyos湖に近いNyos村では死者のほとんどが就寝中に家屋内で即死した模様であり、Nyos村から7~8km離れているCha村やSubum村では手に懐中電灯を持つなどガスの襲来後、やゝ時間の経過したことを示す例が多くある。負傷者の多くは熱によらない火傷を負い、また咳、喀痰および湿性の肺雑音が著しいという(山本保博、私信)。

生存者がガスを吸った時の感じや臭いとしては、(1)胸が焼けつくような思い、(2)酒に酔ったようなふらつき、(3)温かい感じ、(4)卵の腐ったような臭い、(5)調理用のガスのような臭い、(6)gun powderのような臭い、等があった。

3-3 地球化学的調査結果と解釈

災害原因の究明ならびに早期ガス警報システムの設置のために噴出したガス成分を特定することは基本的に重要である。我々はNyos湖において以下の地球化学的調査を行った。なお我々がNyos湖に到着したのは事故発生後約10日を経過した9月1日であり、また調査時間が限られていたために調査地域はNyos湖の北端にある湖水の流れ出し周辺の一点のみであった。

3-3-1 Nyos湖周辺の状況

ガス突出に伴って何が起きたかを推定するために、Nyos湖畔の植生に対する異常や噴出物・地すべりの有無を中心に目視観測を行った。我々が調査した地点はスコリア堆積物が緑の牧草で覆われており、その植生が枯死したような形跡は認められなかった。湖畔の草地の一部は約3m位の高さにまで波で洗われたような跡が見られたが、そのような場所は一部に限られていた。Nyos湖北端の急崖部で極小規模の地すべりの跡が見られたが、これがガス突出時に発生したものであるかどうかは判断できなかった。ただし崩壊土上にはまだ緑の葉をつけた樹木が傾いて残っていた。ガス突出が水蒸気爆発に伴われた可能性が考えられているが、調査地点では最近の噴出物を見ることが出来なかった。ヘリコプターによる上空からの観察ではNyos湖の南西端に一部黒褐色を呈した露出土壤が見られたが詳細は不明である。

3-3-2 大気および土壌ガス組成

上記地点で大気および土壌ガス組成の分析を行った。測定項目と結果は表2に示した通りである。測定には北川式ガス検知管を用いた。水面上50cmの大気は通常大気と同じCO₂濃度およびO₂濃度を示し、火山ガス成分であるH₂S、SO₂、HCl、HFは検出限界以下であった。毒性ガスのHCNも全く検出されなかった。また湖面直上5cmの大気中のCO₂濃度は1400ppmで、これは通常大気の約4倍であり、明らかに異常値である。このことは、今なお湖水中からCO₂の逃散が続いていることを意味している。また鉄棒を用いて土中に深さ15および20cmの穴を開け、その中に検知管を挿入することにより土壌大気中のCO₂濃度を測定した。土壌大気中のCO₂濃度は高く、地中20cmでは7000ppm程度であったが、この値は植生のある場所の値として特に高いということはない。

3-3-3 湖水の化学組成とその解釈

我々が現地に着した時点でNyos湖は全体が赤茶けた色を呈していた。湖水の流れ

出しの地点で表面水を採取し化学分析に供した。表3にNyos湖および参考のために採水したWum湖の化学組成を示した。両者の比較から分かる特徴点はNyos湖水の全炭酸 (ΣCO_2), NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} の濃度がWum湖のそれらに比べて高いことである。中でも全炭酸濃度が非常に高い。このことは前述の湖面大気中の高 CO_2 濃度と調和的である。この全炭酸濃度は通常大気中 CO_2 分圧下で溶解しうる濃度よりも圧倒的に高いので、Nyos湖水に何らかの形で炭酸物質が加えられたことは明らかである。Nyos湖の Ca^{2+} , Mg^{2+} および SiO_2 濃度がWum湖のその数倍高い理由は未詳であるが、これらは玄武岩の主成分元素であることから、地下水との相互作用によって地下の玄武岩から比較的低温で溶かし出されたものと考えられる。同様に Fe^{2+} も溶出されたとあろうが、これは溶液中の溶存酸素の存在下で容易に Fe^{3+} に酸化される。pH6.5程度の溶液中では Fe^{3+} は水酸化第二鉄 ($\text{Fe}(\text{OH})_3$)として沈澱を形成する。このことがNyos湖に大量に水酸化鉄の沈澱(後述)を生ぜしめた原因と考えられる。

1価陽イオンの Na^+ と K^+ 濃度は両湖ではほぼ同じであり、日本の平均的河川水(一國, 1972)と同程度ある。しかしNyos湖の NH_4^+ 濃度はWum湖のそれよりも2ケタも高い。このことが今回の災害と関連するか否かは今後の検討を要する。陰イオン濃度は HCO_3^- を除いていずれも微小であり、日本の河川水平均値よりもずっと低い。Nyos湖の SO_4^{2-} 濃度はWum湖より多く、増分は炭酸物質のNyos湖への添加と関連しているのかも知れない。

1984年8月に同じカメルーンのMonoun湖で今回と酷似したガス突出災害があった。事故後半年経って調査されたMonoun湖水の化学組成(Sigurdsson et al., 1986)とNyos湖のそれとを比較すると、(1) 溶存炭酸が非常に多い、(2) Na^+ と K^+ に比して Ca^{2+} や Mg^{2+} が多い、(3) NH_4^+ が多い、(4) Cl^- , SO_4^{2-} が少ない、など両者に共通した特徴点が目立つ。Monoun湖では Fe^{2+} 濃度が非常に大きいことが報告されている。このこともNyos湖で見られた多量の水酸化鉄の沈澱の存在と調和的である。つまり、2つの災害が発生した後の湖水の化学組成は共通の要因で支配されており、湖水の詳細な調査に基づく要因の解析は災害原因を究明する上で重要な鍵となる。

3-3-4 湖水および炭酸物質の同位体比とその解釈

水面上5cmの大気中の CO_2 濃度が異常値を示したので、この大気をプラスチックバッグに約3リットル採取した。実験室で CO_2 を定量的に回収し、その炭素同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)を測定したところ、 $\delta^{13}\text{C} = -5.5\%$ であった(表4)。なお $\delta^{13}\text{C}$ 値

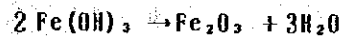
は国際標準物質 (PDB) の炭素同位体比に対する試料の同位体比の千分偏差値である。 $\delta^{13}\text{C} = -5.5\%$ という値は通常大気中の CO_2 の値 $-7 \sim -8\%$ に比べてやや高く、湖水に溶存する二酸化炭素の同位対比はさらに高いことが予想された。実際に溶存全炭酸を測定したところ $\delta^{13}\text{C} = +1.5\%$ という高い値が得られた。これらの同位対比は一般に起源物質の推定によく用いられている。Nyos湖から噴出した二酸化炭素の起源として (1)湖底に堆積した植物等の分解、および (2)地球深部から由来する火山性二酸化炭素の供給が考えられている。地球の陸上植物は大気中の CO_2 と水から光合成により形成されるが、その $\delta^{13}\text{C}$ 値は大部分が $-20 \sim -30\%$ の低い値の範囲にあるのに対して、火山性 CO_2 の値は $-10 \sim 0\%$ 、また海成の石炭岩の分解から生じる CO_2 のそれは $-1 \sim +2\%$ の範囲にある (Beines, 1980)。Nyos湖の全溶存炭酸の $\delta^{13}\text{C} = +1.5\%$ は、上記(1)、(2)の示すべき範囲のいずれからも逸脱しており、むしろ石灰岩の分解により生じた CO_2 の起源を示しているように見える。しかし溶存炭酸の一部が CO_2 として大気へ逸散する時には、逃げていく CO_2 の炭素同位体比は残留している溶存炭酸のそれよりも常に低いことが知られている。つまり CO_2 として大気中に逃散する割合が増えるほど、溶存炭酸の $\delta^{13}\text{C}$ 値は高くなる。1986年8月21日にNyos湖では、それまでに溶存していた炭酸物質から多量の CO_2 が一挙に脱け出したと思われる。また表2に示したように9月1日においても湖面からの CO_2 の逃散は継続していた。もし、この時に上述の炭素同位体分別作用があったとすると、もともとNyos湖に溶けていた全炭酸物質の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $+1.5\%$ よりも低かったであろう。事実1984年に調査されたMonoun湖の異なった深さでの溶存炭酸の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $-3 \sim -6\%$ であった (Sigurdsson et al., 1986)。溶存炭酸の起源として植物等の有機物を想定した場合、上述の CO_2 の逸散時の炭素同位体分別作用だけで溶存炭酸の $\delta^{13}\text{C}$ 値を -25% から $+1.5\%$ にまで高めることは不可能ではないが困難である。火山性 CO_2 を起源物質として出発すれば、比較的容易に観測値を説明することができる。これらのことを考え合わせると、ガス突出以前にNyos湖に溶けていた全炭酸物質は火山性の CO_2 起源とする考えが受け入れ易い。

Nyos湖およびWum湖の表面水の水素と酸素同位体比を測定した (表4)。 δD および $\delta^{18}\text{O}$ 値の基準値としては標準平均海水 (SMOW) を用いてある。Nyos, WUM両湖の同位体比は日本の湖沼水の値に比べて明らかに高いが、Bamendaで採取した降水の値から判断されるように、この地域の天水の同位体比そのものが高く、熱帯地方に位置するこ

の地域の陸水の値として異常なものではないと思われる。Monoun湖では表面水と深層水とで異なった同位体比が報告されており(Sigurdsson, et al., 1986), 湖水の成層がうかがわれるが, Nyos湖やNum湖については未詳である。

3-3-5 水酸化第二鉄の沈殿とその解釈

Nyos湖には多量の赤褐色の物質が浮遊していた。とくに湖水の流れ出しの河床にはこの物質が沈着していたので, これを採取し水に懸濁させたまま実験室に持ち帰った。100メッシュのふるいを通した部分のみを遠心分離し風乾した。この物質について粉末X線回折と示差熱分析を行った。図4は風乾試料(上)と示差熱分析後(最高1300℃まで加熱)の試料(下)のX線回折パターンである。風乾試料は回折線が全く認められず非晶質物質であった。示差熱分析後の試料はいずれもhematite(Fe_2O_3)に属すべき回折線が認められた。図5には示差熱分析の結果を示す。即ち75℃に脱水による大きな吸熱ピーク, 290℃に非常に大きな発熱ピーク, そして506℃に小さな吸熱ピークがあった。また加熱前後の重量変化は26%減で, これは



に伴う変化と一致する。以上からNyos湖水に浮遊していた赤褐色の物質は水酸化第二鉄($Fe(OH)_2$)である。

ガス突出後のNyos湖にはなぜ多量の水酸化第二鉄の沈殿が浮遊していたのであろうか。多量の沈殿を説明するためにはもともと多量の鉄がイオンとして溶解していなければならない。3価の鉄イオン Fe^{3+} は中性近くの水中で溶解度の低い水酸化第二鉄を形成するので水中には存在し得ない。2価の鉄イオン Fe^{2+} は中性近くの水中で存在しうるが, そのためには水は非常に還元的(無酸素)でなければならない。したがってガス突出前のNyos湖の深層は恐らく無酸素で大気との物質交換は無かったと考えられる。言い換えればNyos湖は酸化還元環境に関して二層構造を持っていた。そのような成層構造を保つような温度分布もあったと思われる。カメルーンは熱帯地方にあるために年間を通じて気温が比較的一定している。表5はYaoundeにおける各気候要素の月別変化を示したものである(理科年表1986)。Yaoundeでの月平均気温は最高が24.6℃(2月), 最低が22.2℃(7月)で, その差がわずかに2.4℃である。Nyos湖地域でも全体的状況はほぼ同様であろうから, Nyos湖では日本にあるような温帯湖と異なり, 温度成層が年間を通じて保たれていた可能性が高い。このことが2価鉄イオンの存在を可能にし, 同時に多量の溶存炭酸を封じ込めたままにしていたと考えられる。

3-4 考察と今後の問題

Nyos湖ガス災害に関する生存者等の証言、現場の状況、今までに得られた調査結果をもとに、噴出したガスの特定、災害原因および今後の類似のガス災害を回避するための方策について、残されている問題点とともに考察する。

3-4-1 噴出したガスの特定

災害原因となったガスの特定には2つの実証的アプローチが行われてきた。1つはガス突出がNyos湖から起こったことから湖水の化学組成に証拠を求めようとするものであり、他の1つは被災患者を死に至らしめ、また火傷を負わせた物質を医学的解析から追及するものである。前者のアプローチをとった我々の立場からは災害の主因は大量の二酸化炭素 (CO_2) の放出とするのがデータに最も忠実な解釈である。今災害はもとより天然現象であるから二酸化炭素以外の物質も必ずや伴っていたであろう。生存者の証言や症状および天然に存在するガス成分に関する常識から判断して、硫化水素 (H_2S) や二酸化硫黄 (SO_2) の存在も否定できない。火傷の原因として酸性物質、中でも硫酸の可能性が言われているが、硫酸そのものは極めて水溶性であり湖水から出ることにはあり得ない。したがって硫黄を含む物質が大気中で、あるいは人体表面で酸化されて硫酸化したことを想定せざるを得ない。硫化水素を硫酸にまで酸化することは実験室においても容易ではない。二酸化硫黄の酸化は比較的容易であるが、この物質は水に対する溶解度が大きい。それにもかかわらず湖水中にその痕跡が非常に少ない。被害者の衣服が侵されず皮膚が強く侵され、しかも周辺植物は影響を受けていない、など単純には説明できない要素が多い。1984年のMonoun湖事故および今回のNyos湖事故でもアンモニアの酸化により硝酸を生じ、それが化学火傷の原因とする説もある (Sigurdsson et al., 1986, Beardsley)。しかしここでもアンモニアをいかに硝酸に酸化させるかが問題である。火傷の原因については今後の医学的所見を待つとともに、生存者の衣類の分析等を行う必要がある。

3-4-2 災害原因

今回のNyos湖ガス災害の特徴は被災地域が広大であることである。Monoun湖事故にしても1979年のインドネシアDieng火山における火山ガス災害 (Le Guern et al., 1982) にしても、被災者の分布域は1kmを越えない。しかし今災害はガス発生源のNyos湖から東に8km、西に7km、北西方向に15kmにおよぶ広範囲で死者がでていた。二酸化炭素がガスの主体であったとして、一体、どれだけの量の噴出があったのか、15kmの先

までガスの“塊”が人を死に至らしめる濃度を保ったまま拡散することなしに到達するには、どのような条件のもとで、どのような形で移動したのか、これらの疑問は今後十分に検討されるべきであろう。またNyos湖の内部にはどれだけの量の二酸化炭素が蓄積可能かを検討することもぜひ必要である。

今回のガス突出事故が起こるためには、(1)湖の内部に二酸化炭素を供給するメカニズム、(2)それを蓄積するメカニズム、そして(3)蓄積した二酸化炭素を一挙に放出させるメカニズム、が作用したと思われる。(1)については火山性の二酸化炭素の供給があったことを3-3-4で示唆したが、実際には二酸化炭素がどのように地下から移動し、湖内に溶け込んだかについてまだ未知の点が多く残されている。(2)については3-3-5で湖水の成層化がガスの蓄積の一因となっていることを指摘した。しかし、実際の温度分布、化学組成の分布等については今後調査を重ねる必要がある。その点でNyos湖のみならず、類似の環境になる他の火口湖についての地球化学的、湖沼学的調査は将来の災害を未然に防ぐために必要不可欠なところであると考えられる。(3)については、深層の二酸化炭素に飽和した水塊が何らかの“きっかけ”で負荷水圧の低い浅部へと上昇することが考えられる。ひとたび上昇が起れば溶存二酸化炭素は発泡し、見かけ密度の減少した水塊の上昇が加速されるので、後は連鎖反動的にガスの発生が起る可能性が高い。しかしながら何が“きっかけ”であったかは定かでない。Monoun事故では水面下の地すべりがきっかけとされている。Nyos湖事故もそうであったかもしれないが、被災者の火傷が二酸化硫黄などを原因とするならば、湖底で火山性水蒸気爆発が起こったこともきっかけとして十分に考えられることである。

3-4-3 類似のガス災害を回避するための方策

カメルーン事故に対する国際緊急援助隊の派遣目的の1つは早期警報システム設置の可能性の検討にあった。すでにくり返し述べたように災害の原因は湖水からの二酸化炭素の突出である。したがって湖水の二酸化炭素濃度を連続的に監視することは1つの有力な方法と思われる。問題点は二酸化炭素の蓄積速度や、どの濃度が“臨界点”であるかについての知見がないことであろう。また3-4-2で述べた“きっかけ”を何らかの方法(例えば地震学的手法)でとらえることも合わせて必要と思われる。しかしガスの突出は恐らく極めて短時間に終了するであろうから、直前予報が果たして効果があるか否かについては疑問が残る。

今回のような火口湖からのガス突出事故の調査例はMonoun事故を含めてまだ2回目

である。我々はまだにも知らないことが多すぎる。将来のガス突出災害を回避するためには、地道ではあるが災害原因の更なる解明を求めて、地球化学的・湖沼学的・地質学的に類似な環境にある火口湖の現状をつぶさに調査・研究することが、結局は近道であるように思われる。それは我々の力だけでは達成出来ないかも知れない。長期的に見た場合にはカメルーンの研究者和との協力が不可欠であろうし、それが得られにくい状況があるとすれば、このような災害科学の基礎となる学問分野での交流や技術援助が効果があるように思われる。

引用文献

Beardsley, T. (1986) Cameroon disaster; Carbon dioxide blamed. *Nature* 324 (4 Sept.), 8

Deines, P. (1980) The isotopic composition of reduced organic carbon. In: P. Fritz and J. Fontes (editors), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Vol. 1, p. 329-406.

一國雅三(1972)無機地球科学 pp. 148, 培風館。

Le Guern, F., Tazief, H. and Faivre Pierret, R. (1982) An example of health hazard: people killed by gas during a phreatic eruption: Dieng Plateau (Java, Indonesia), February 20th 1979. *Bull. Volcanol.* 45-2, 153-156.

理科年表(1986)東京天文台編纂, 丸善。

Sigurdsson, H., Devine, J. D., Tchoua, F. M., Pressar, T. S., Pringle, M. K. W. and Evans, W. C. (1986) Origin of the lethal gas burst from Lake Monoun, Cameroon. Preprint submitted to *J. Volcanol. Geotherm. Res.*

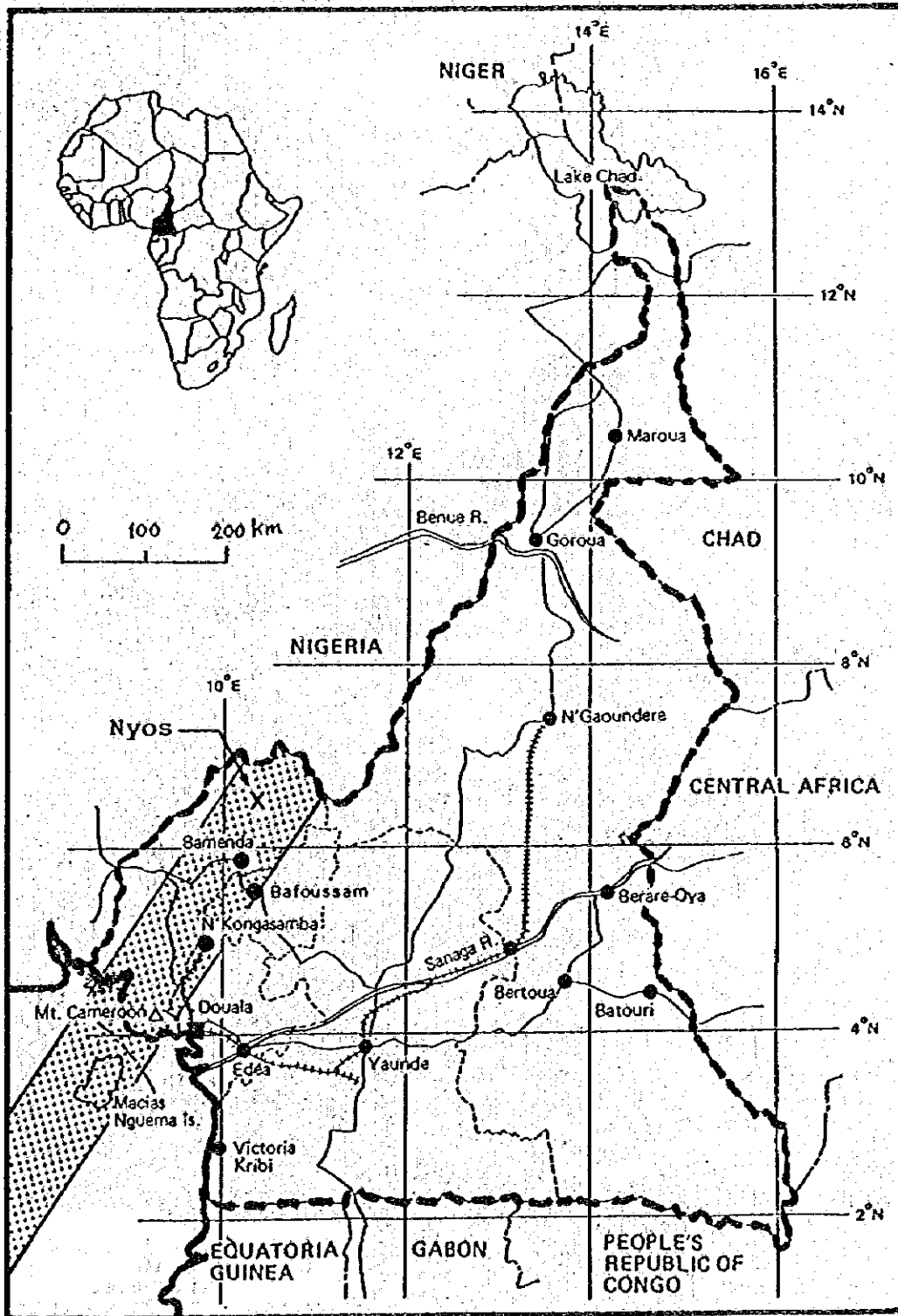


図1 カメルーンの概略図。×は災害の発生したNyos湖の位置を示す。

左下の網掛けは火山帯を示す。

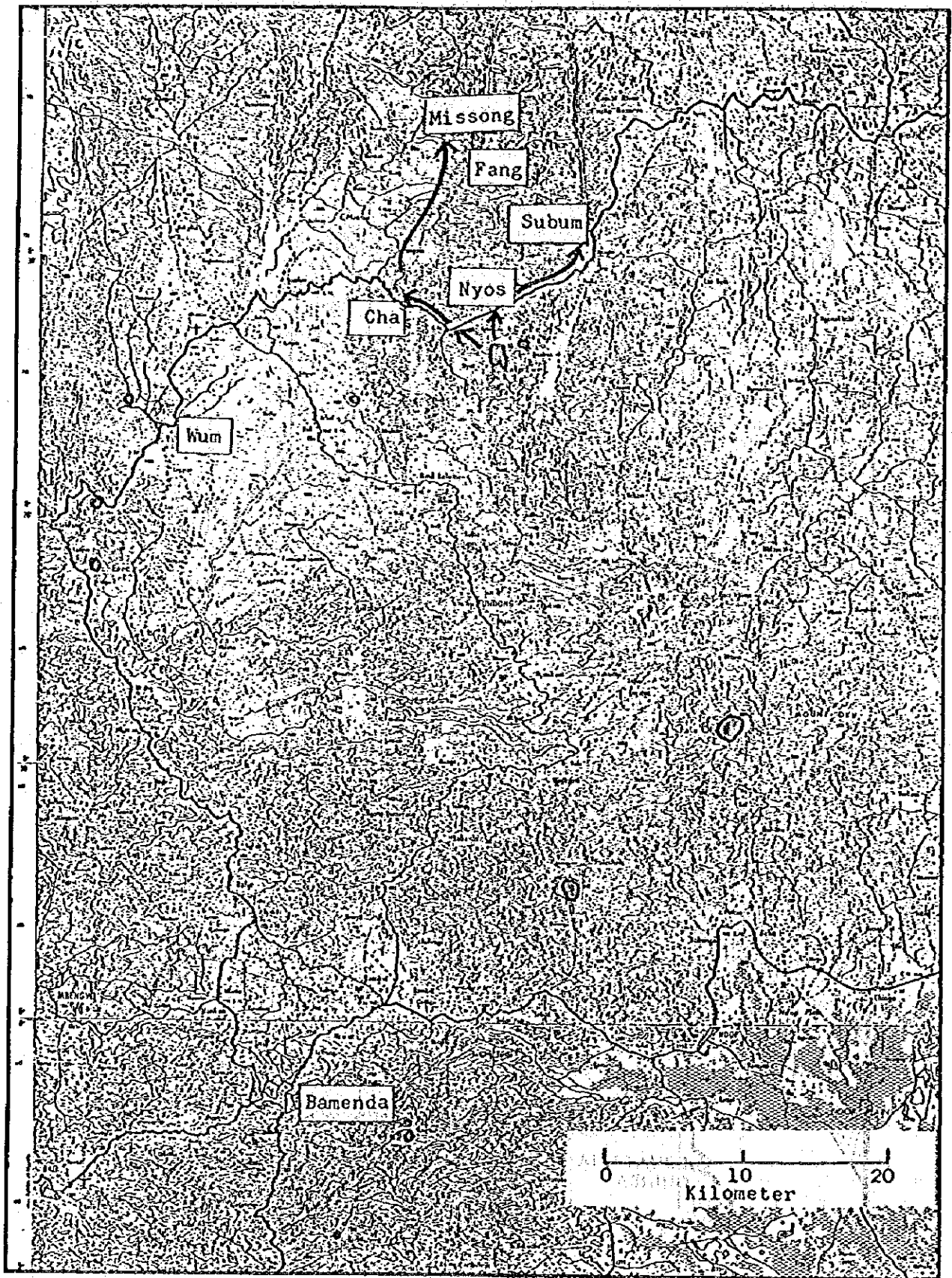


図2 Bamenda-Nyum-Nyos 地域の地形図。この図の中に目の火口湖（黒い縁どり）を見ることができる。

Nyos湖から発生したガスの推定経路を矢印で示してある。

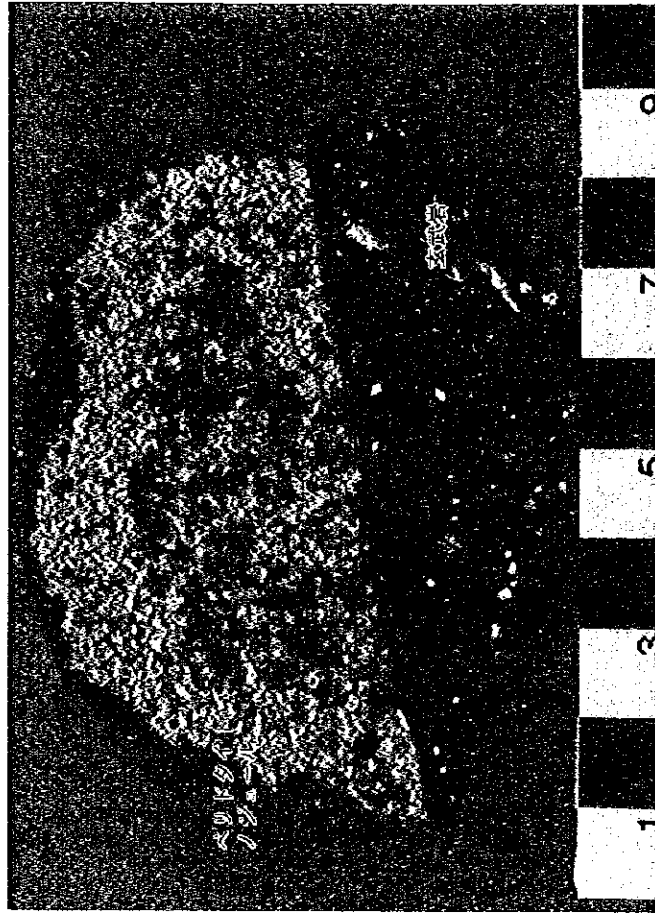


Fig. 3 Hyos湖形成の火山活動により放出された噴出岩塊。

air dried
material

material
after DTA
(heated to max 300°C)
H: Hematite Fe_2O_3

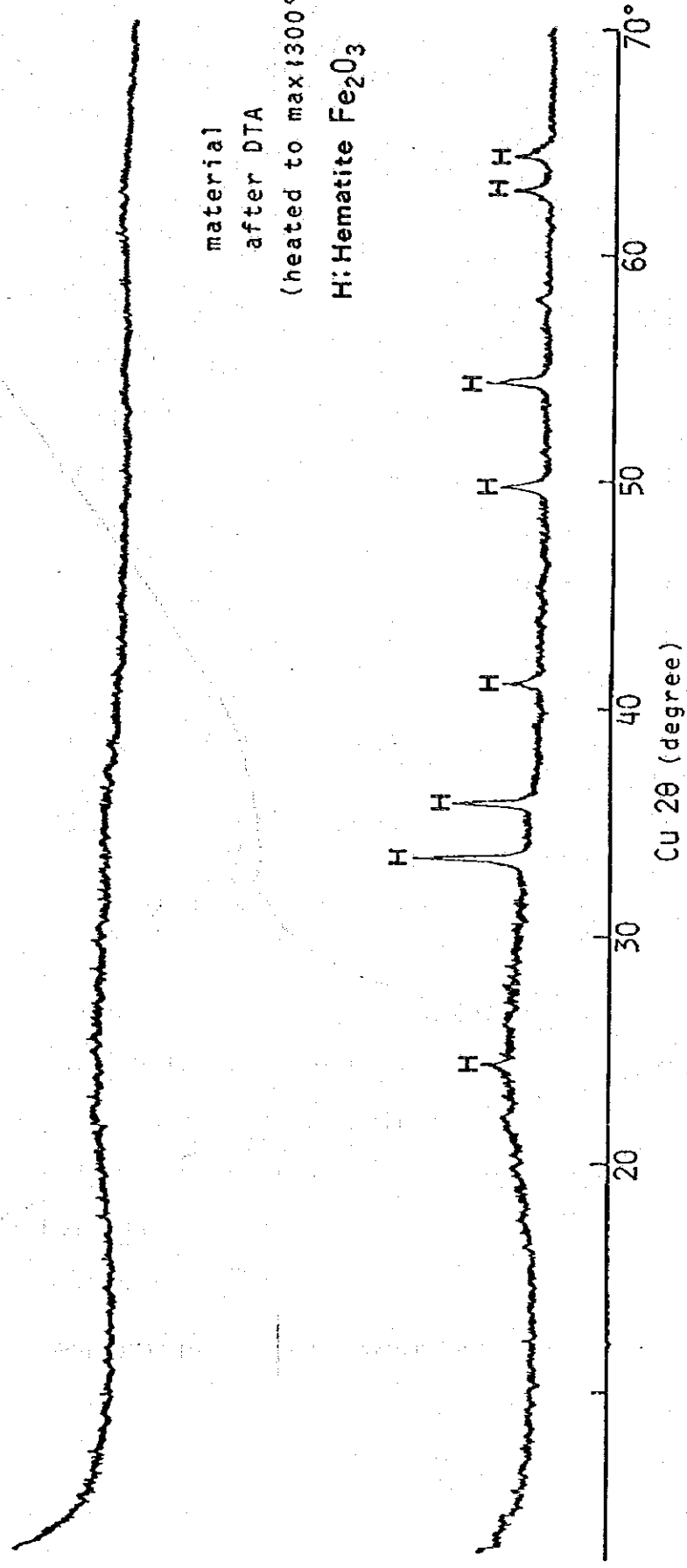


图4 X-射线衍射 profiles of suspended material in Lake Nyos

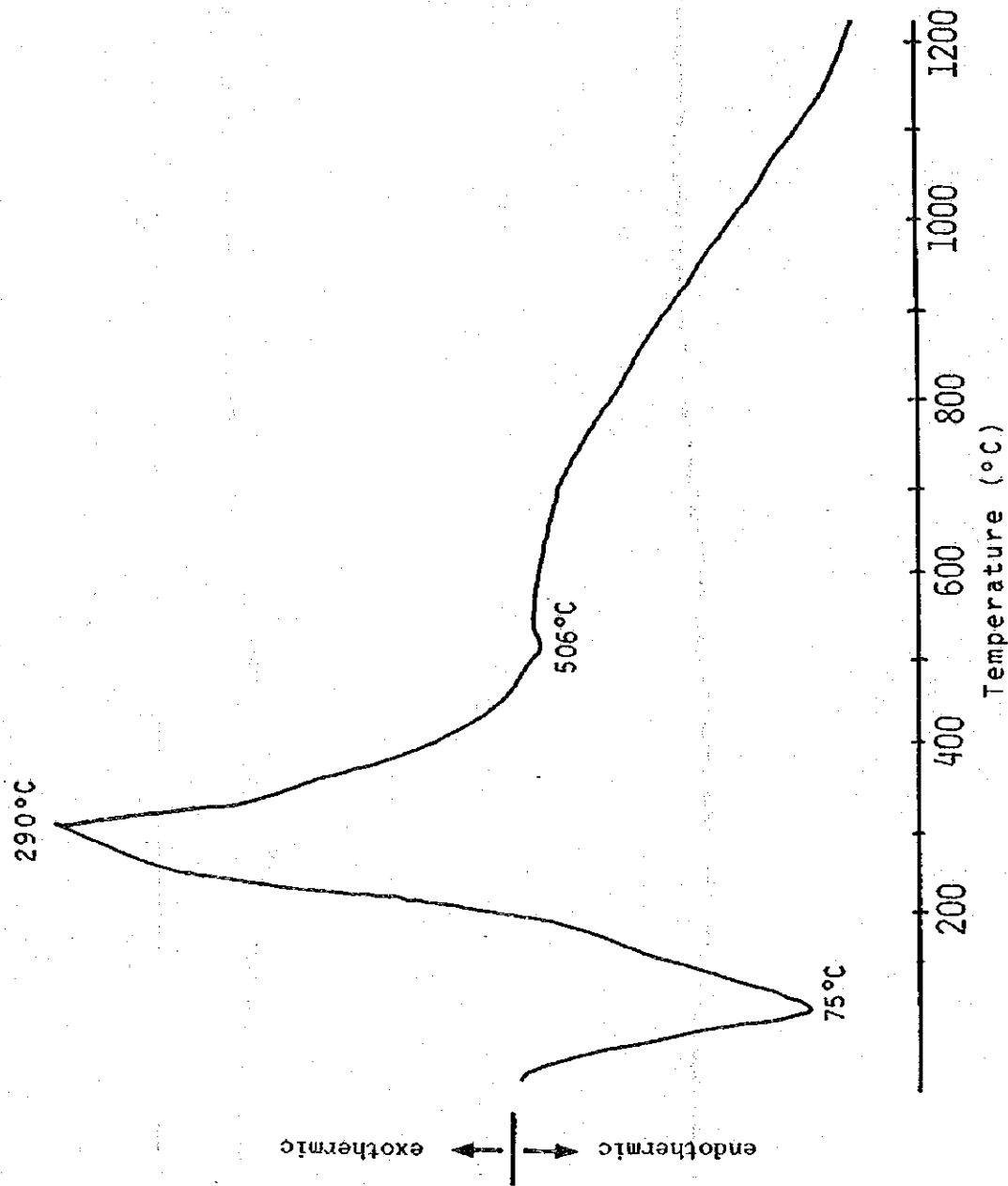


Fig 5 DTA (differential thermal analysis) profile of suspended material

in Lake Nyos

表 1 Chemical compositions of ejecta from Lake Nyos

Sample	Ny-1		Ny-2		EAAR	
	ET	SA	ET	SA	3	4
SiO ₂	45.1	44.93	46.1	43.71	38.35	39.59
TiO ₂	3.1	3.00	3.2	3.15	2.18	1.06
Al ₂ O ₃	16.2	16.18	16.2	16.41	13.29	13.63
Fe ₂ O ₃ *	5.2	4.94	4.4			
FeO**	6.8	6.52	6.6	11.27	6.22	3.89
MnO	0.15	0.159	0.14	0.161	0.17	0.10
MgO	8.8	8.53	8.4	8.01	5.99	3.57
CaO	9.0	8.75	9.0	9.33	15.34	19.94
Na ₂ O	2.1	1.90	2.4	1.86	3.72	4.66
K ₂ O	0.9	0.853	0.9	0.781	3.21	3.80
P ₂ O ₅	(0.9)	0.688	(0.9)	0.701	0.82	0.21
Total	97.7	95.96	97.8	95.38	89.29	90.45

* Fe(II)/Fe(III) ratios were determined by colorimetry.

** Total iron expressed as FeO.

Figures in parenthesis is less accurate due to poor calibration.

Ny-1 : Bulk rock including xenocrysts.

Ny-2, -3 : Groundmass excluding large xenocrysts.

EAAR 3, 4 : East African alkaline rocks (Carmichael et al., 1974)

ET : E. Takahashi, With EPMA

SA : S. Aramaki, With XRF

表 2. Chemical analyses of atmospheric and soil gases at Lake Nyos,
Cameroon (all figures in ppm except for O₂)

	CO ₂	H ₂ S	SO ₂	HCl	HF	HCN	O ₂ (%)
Detection limit	30	0.05	0.5	0.2	0.5	0.2	—
A. Atmosphere, 50cm above the lake surface	300	0.27	0	0	0	0	20.9
B. Atmosphere, 5cm above the lake surface	1400	—	—	—	—	—	20.
C. Soil gas, 15cm deep	3000	—	—	—	—	—	—
D. Soil gas, 20cm deep	7000	—	—	—	—	—	—

All measurements were made in situ with gas detection tubes except for O₂,

which was measured with an oxygen-meter equipped with a galvanic cell sensor.

Soil gases other than CO₂ were not measured.

表 3. Chemical composition of surface waters from Lake Nyos and Lake Num
(all figures are in mg/l)

Component	Lake Nyos	Lake Num
Temp (°C)	23.0	—
pH	6.5	7.1
Na ⁺	6.6	6.6
K ⁺	2.5	2.6
NH ₄ ⁺	2.02	<0.01
Ca ²⁺	15.0	2.6
Mg ²⁺	20.4	2.6
Fe ²⁺	0.03	0.12
Fe ³⁺	0.0	0.01
Al ³⁺	0.0	0.0
Mn	0.6	0.0
ΣCO ₂	182	13.3
Cl ⁻	0.22	0.33
F ⁻	0.04	0.07
NO ₃ ⁻	0.02	<0.01
SO ₄ ²⁻	0.23	<0.01
SiO ₂	17.9	5.8

表 4. Isotopic analyses of CO₂ and H₂O from Lake Nyos and Lake Numa

Sample	$\delta^{13}\text{C}$	δD	$\delta^{18}\text{O}$
Atmospheric CO ₂ , Lake Nyos	-5.5	-	-
Total dissolved carbonate	+1.5	-	-
Nyos lake water	-	-12.1	-2.8
Num lake water	-	+7.2	+1.2
Bamenda rain water	-	-19.0	-4.1

表 5. Monthly average climatic parameters at Yaounde, Cameroon

	Jan.	Fed.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual average
Temperature(°C)	24.1	24.6	24.5	24.3	23.8	23.1	22.2	22.3	23.0	23.0	23.4	23.9	23.6
Relative humidity(%)	79	77	80	82	85	86	86	86	86	86	84	80	83
Rain fall(mm)	22	63	146	182	204	151	56	74	202	300	127	20	1547 (total)

統計期間は1939-1960。

理科年表(1986)より転載。

第 4 章 医学的調査報告

4-1 臨床学的見地から見た患者の病態と有毒ガスの本体について

4-1-1 ウム病院

30日我々は、直ちにウム病院を訪問し、副院長と会い目的を伝え、1人死亡者が出たと伝えられる患者の解剖を許可してくれるよう申し出たところ快く了解してくれた。患者は、50才の男性でチャ村にて1時間30分前に死亡した。竹で編んだ納豆のような形に作られた容器に遺体を入れ、家族や知人達5~6人が病院の隣にある霊安室で待っていた。部屋の中央には、解剖台があり、遺体をこの上に乗せた。その横には、2日前死亡したという女性が安置されており口と鼻から大量のピンク泡沫痰を吹き出して死んでおり、明らかに肺水腫 (lung edema) によるものと考えられた。

解剖は30分程で終わり第5肋間、両側切開で開胸し、右下葉を標本として摘出し、腹部は正中切開とした。その他の標本と概要は、以下の通りである。

- 1 Lung : 肺充血
- 2 Liver : 不明
- 3 Kidney : ショック腎
- 4 Muscle : マクロでは不明
- 5 Stomach : 拡張が著しいが、腐食性変化は認めない

新しい15%ホルマリンにて固定し我が国に持ち帰り、病理学的検討材料とした。続いて副院長と回診に移ったが、多くの入院患者は、呼吸困難と咳に悩まされており、聴診所見は湿性ラ音でX線検査が出来なかったが、明らかに肺水腫であった。

8才の男児は、肺水腫が著しく予後は暗そうであった。

肺水腫のみで、皮膚症状は認めず呼吸器系の化学熱傷 (Chemical burn) による肺水腫が多かった。

又、呼吸障害のない入院患者では、熱傷が多く熱傷深度は浅2度 (Superficial Dermal Burn) が特徴的であった。

熱傷は、顔面の頬が侵されているのが多かった。衣服の上からでも熱傷を負っており、衣服そのものは焼けていなかった。

4~5才の男児は浅2度が中心だったが、腹だけが深2度で、この患者は汗をかき易

い所だけが深くなっていた。

又、目の充血患者が多く結膜炎症状を呈していた。

この理由は酸性ガスが水と反応して H_2SO_4 となり化学熱傷を深くさせたと考えられる。

4-1-2 ヌカンベ病院

31日、医療班はヌカンベ病院で回診調査を行った。

この病院は160床の施設だがこの事故のため、400床程に膨張していた。

この病院は、医師は1人（病院長）であった。この医師は多くの患者を治療しているので有毒ガス噴出時のことについても詳しかった。又、この病院に入院している患者はニオス湖の東にあるスブン村の人達であった。

院長に以下の質問をし、答えてもらった。

① 事故の当時爆発音、地鳴り、地震はあったのか？

何も聞こえなかった。ただ、ニオス湖の山の上に黄色いきのこ雲が出ていたのを目撃した人がいた。

② 何か臭いはしたか？

全ての犠牲者に聞いたが少しの患者が卵の腐った臭いがしたと言っていた。しかし、寝ている人が多かったので分からなかったのかも知れない。

③ 助かった人と死亡した人はどのような違いがあったのか？

眠っている人はそのまま死んでしまったようである。

屋根が硬い家（注：トクンのことか）や家の回りに大きな樹が茂っていた家に住んでいた人は助かったように思われる。

ニオス村では1,200人死亡して6人だけ助かったが、その中の1人、40才程の女性は「神様が助けてくれた。何が何だか分からない」と答えていた。

この女性は下痢がひどく乳酸加リンゲル液、4,000~5,000ml/日、点滴静注しな

いと脱水に陥ってしまう状態にあった。

彼女は若い男におぶってもらって逃げたが、どうしても口が乾いて死にそうになったので川の水を飲んだら腹が焼けるように痛くなり、それから下痢が続いていると訴えていた。

有毒ガス噴出後、川の水にも毒物が混じってしまったと考えてよいだろう。

④ どんな臨床症状が多かったか？

a) 呼吸不全、肺臓炎、喀痰が強く血痰も混じっていたが、肺炎とは症状が違う様だった。しかし、数日後には感染が合併し肺炎を併発してきた患者もいるようだ。

b) 熱傷、皮膚剥脱傷

熱による損傷ではなく、衣服の中にも熱傷を認めた。汗のかき易い部位が多かった。衣服は余り焦げていなかった。

ここでもウム病院と同じように頬の熱傷が多かった。

院長の説明では、これは化学熱傷で熱による皮膚損傷ではないと強く答えた。

患者は熱いという感じはなかったらしい。しかし、これはパニック状態でのことで余りあてにはならない。

c) 下痢、嘔吐、腹痛

これはニオス湖から流れ出た水を飲んだ患者が、これらの症状を呈していた。

d) 四肢麻痺、筋肉痛

この原因は、神経麻痺でなく、皮膚から筋肉に有毒ガスが吸収されたため、浮腫と痛みが強く、動かせなくなっていたのだろう。

時間が経つに従って少しづつ動かせる様になって来た。

院長との話し合いの後、全病棟の回診に移り、ここでも呼吸不全患者を多数診察することが出来た。又、熱傷患者の皮膚の一部を標本として、切除し日本に持ち帰る事が出来た。この切除標本は、日本医科大学病理学教室に依頼し、原因の究明に供す事にした。

4-1-3 結論

2病院での患者の臨床学的見地から結論づけられることは、熱性ガスではない火山性有毒ガスが炭酸ガスに混じって噴出し、即死患者は、炭酸ガスによる酸欠であり、この時期を乗り越えた患者は、大量の炭酸ガスに混じって噴出されたその他の有毒ガスによる化学性肺臓炎からの肺水腫、或は化学熱傷、化学性結膜炎、筋肉浮腫等を惹起してきたということである。

この有毒ガス物質は、患者の臨床症状から火山性酸性ガスとして含まれており、空気より、重い硫化水素 (H_2S)、二酸化硫黄 (SO_2)と考えられた。

4-2 剖検症例の病理学的所見

4-2-1 組織学的変化

左肺臓：胸膜の線維性肥厚と共に肺胞腔は肺胞中隔の毛細血管消失に伴う菲薄化と拡大を示し、また不規則な肥厚を伴い狭小化を示している。肺動脈では壁の肥厚と動脈周囲の硝子化を伴う線維化がみられ、隣接する末梢気管支において管腔拡大、基底膜及び筋層の肥厚を示し、ときに壁周囲に軽度の小円形細胞浸潤を見る（写真1）。

また肺胞壁の肥厚部分にはヘモジデリン以外の鉄反応陰性の褐色顆粒の沈着とそれを貪食したマクロファージの増殖がみられる。ここには急性肺水腫の像は認められず鬱血像と局所的に肺胞上皮の増生がみられる。

右肺臓：左肺と類似した変化を示すが、その他に肺動脈に新鮮血栓の形成がみられる（写真3）。

また、局所的に石炭沈着がみられ、その周囲に前述と同様の鉄反応陰性の褐色顆粒の沈着をみる（写真4）。

腎臓：高度の鬱血像と尿細管上皮の腫大がみられ、腎盂上皮下には水腫と線維化に伴う尿細管の萎縮がみられる。糸球体には著変を認めず腎動脈の動脈硬化は軽度である（写真5）。

肝臓：鬱血に伴い肝細胞の局所的な萎縮、空胞化並びに硝子様変化がみられ類洞内皮下には水腫を認める。ク管では線維化を伴う拡大がみられ軽度の胆管増生と好酸球、プラズマ球、リンパ球などの小円形細胞浸潤と褐色顆粒を貪食したマクロファージを認める（写真6）。

骨格筋：軽度の二次変性を伴うが細胞には大小不同性や炎症性変化も見られず、末梢神経にも著変を認めない。

胃粘膜：表層上皮の剝離と固有層に水腫、固有腺の萎縮をみるが小円形細胞浸潤はない。

皮膚：非熱傷部では表皮の萎縮と基底膜細胞にメラニン色素が豊富にみられ、真皮上層において、血管周囲にプラズマ球、好酸球の浸潤に加えてメラニン含有細胞の増殖をみる。一方熱傷部では、水疱の形成に伴う表皮の剝離と剝離上皮の変性、メラニン色素の流出、表皮下に多核白血球の集積を伴う膿瘍の形成がみられると共に菌塊の付着をみる。菌塊はグラム陽性球菌とグラム陰性桿菌よりなる（写真7）。

4-2-2 【考察】

(1) 以上肺臓は光学顕微鏡的には陳旧性の動脈周囲線維化および肺気腫性変化を示し、急性肺水腫の所見はみられず、急性変化としては鬱血像と右肺動脈の新鮮血栓の形成像が認められた。

特に注目すべきは肥厚した肺胞壁に認められた褐色顆粒の存在であり、この物質が本症例の慢性肺病変の発生、あるいは急性変化の発生にいかに関係するかが問題となろう。

肺以外の病変としては熱傷部皮膚変化である。水疱形成に伴い表皮は変性、急性炎症の合併をみとめ、菌塊の付着をみる。

表皮の形態は一応保たれているところから、細胞融解を起す程の強力なtoxic agentの関与はなかった可能性がある。またブドウ球菌の感染が熱傷様病態を示すこともあるが、ここにみられる細菌感染は一応、二次的なものと考えて良いであろう。

肝では非特異的肝炎像といえる変化をみるが、急死の病態を反映して鬱血、肝細胞の空胞化と細胞壊死が局所的にみられた。

その他腎の急性鬱血像は急性死を反映しているものと思われる。

(2) エネルギー分散型X線分析装置および堀場製E M I A - 2300型元素分析計による肺及び皮膚組織内元素量の分析：肺臓では本症例においてS成分の含有はみられたが、対照例に比し特異な増加は確認されなかった。

一方熱傷部皮膚においては対照部皮膚に比しS成分の増加が確認された。但し、皮膚標本はパラフィンブロックを使用した（図7、表8）。

写真8は対照肺の走査電顕像であり、写真9は症例肺の電顕像で対照肺に比し肺胞粒の大小不同と壁構造の乱れが顕著である。

(3) 肺臓内褐色顆粒の元素分析。

写真10で示す部位にS成分を主とするP、Si、Caの各元素の局在が確認された(図6)。

4-3 組織抽出液中の硫酸イオンの分析

試料は昭和61年8月30日に採取し、固定のため直ちにホルマリン溶液に漬積されたものであった。受領後、直ちに秤量し(表8)、病理組織標本用試料を採取後、分析まで-20℃で凍結保存した。

(表6)

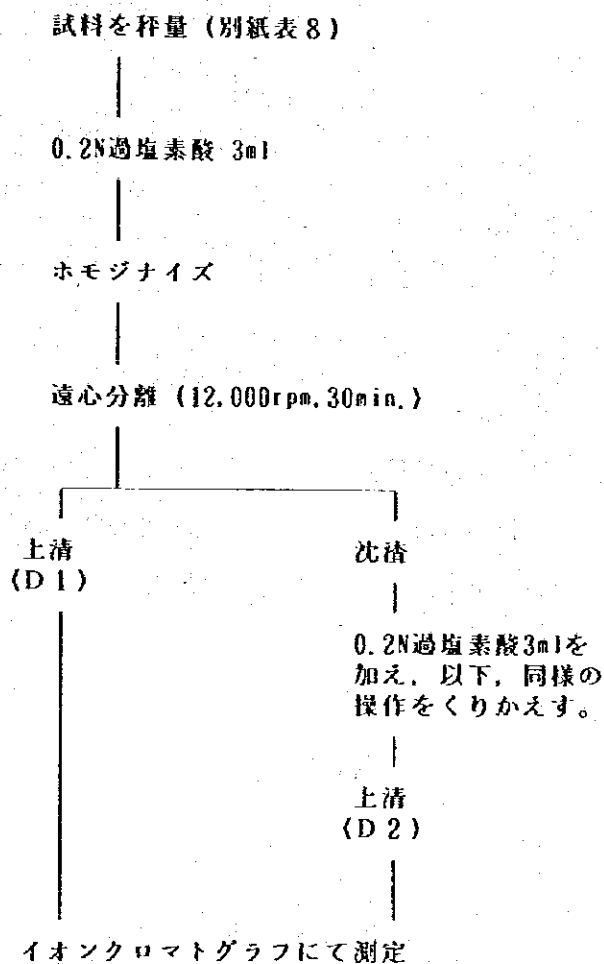
試料	重量
胃	4.2 g
肝	4.8 g
皮膚	5.4 g
筋	3.8 g
左肺	4.1 g
右肺	4.5 g
左腎	9.5 g
右腎	9.5 g

試料が上記のように少量であること、採取より1週間ホルマリン溶液に漬積されていたこと等を考慮し、各臓器中の硫酸イオンを下記の方法で測定した。

4-3-1 イオンクロマトグラフによる硫酸イオンの測定

(I) 試料の調製

(a) 直接除蛋白法



(b) 凍結乾燥法

試料を秤量後 (別紙表 8), 凍結乾燥し, (I)と同様の除蛋白操作を行った。

(FD 1)

(c) 臓器漬積ホルマリン溶液 (別紙表 8)

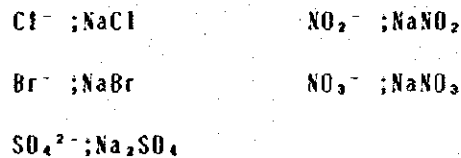
ホルマリン溶液 0.5ml をとり, (I)と同様に除蛋白を行った。

(d) 非暴露対照コントロール (別紙表 9)

急死例 (剥離性動脈瘤破裂) の剖検死体の各臓器を (I)および (2)と同様の条件で調製し, イオンクロマトグラフにて測定した。

(2) 分析方法

- (a) 試料 人体組織抽出液
- (b) 使用機器 イオンクロマトグラフ
HIC-6A, 島津
- (c) 分析条件 カラムはShim-pack IC-A1を, ガードカラムはShim-pack IC--
-GA1を用い, カラム温度40℃で, 流速は1.5ml/min., 2.5mMフク
ル酸, 2.4mM トリス (ヒドロキシメチル) アミノメクンを移動
相とした。
(pH4.0) 検出器はCDD-6A, 感度は0.4 μs/cm, Atten. 0で
測定した。
すべての試料は測定まで凍結保存し, 解凍後, 遠心分離 (12,00
0rpm, 5min)を行い, 上澄の5ul をカラムに注入した。
- (d) standardに用いたアニオンは, 以下の化合物から調製した。



(3) 分析結果

別紙10のとおりである。

4-3-2 考察

カメルーン被災者の各臓器中の硫酸イオン濃度は皮膚以外で対照より高値を示した。しかし, その臓器を固定するため漬積してきたホルマリン溶液中にも同様に多量の硫酸イオンが検出された。この事は, 漬積前のホルマリン溶液中に硫酸イオンが存在していた, あるいは漬積後に臓器から流出してきたものかのいずれかと思われる。(漬積用のホルマリン原液は入手できず) また, コントロールは日本人の臓器であり, 硫酸イオンについての個人差, 人種差, 疾病との関連性, カメルーンの地域特異性等, 問題点が多い。しかしながら, 死体所見等を考慮にいとると, 含硫ガスに暴露された可能性も否定できない。

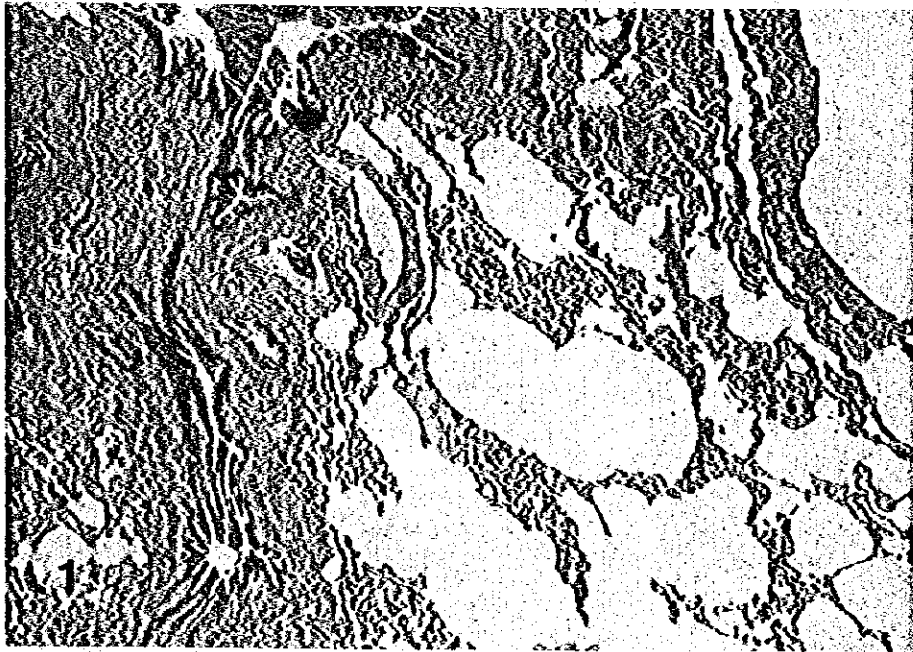


写真1.

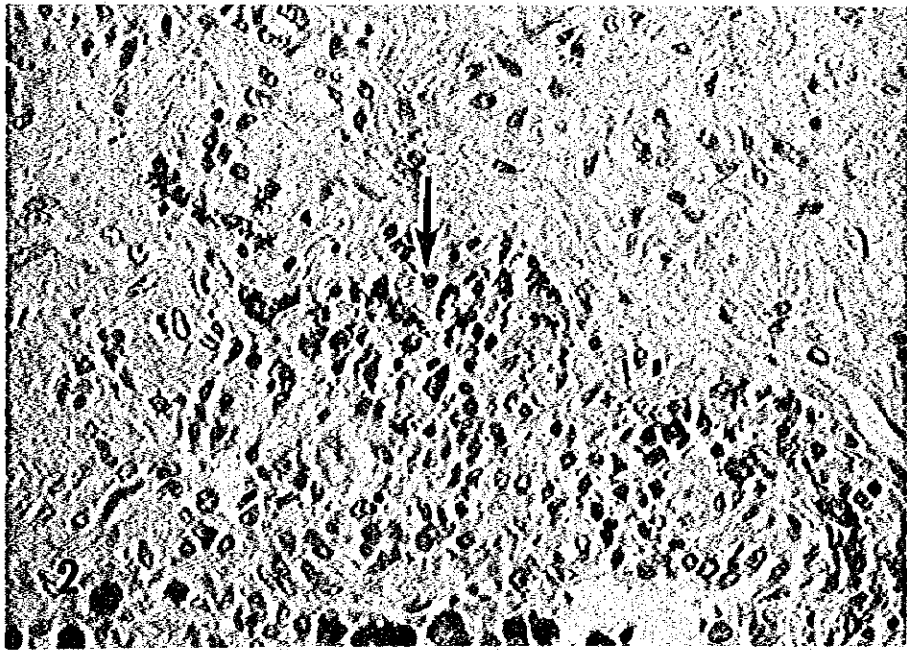


写真2.

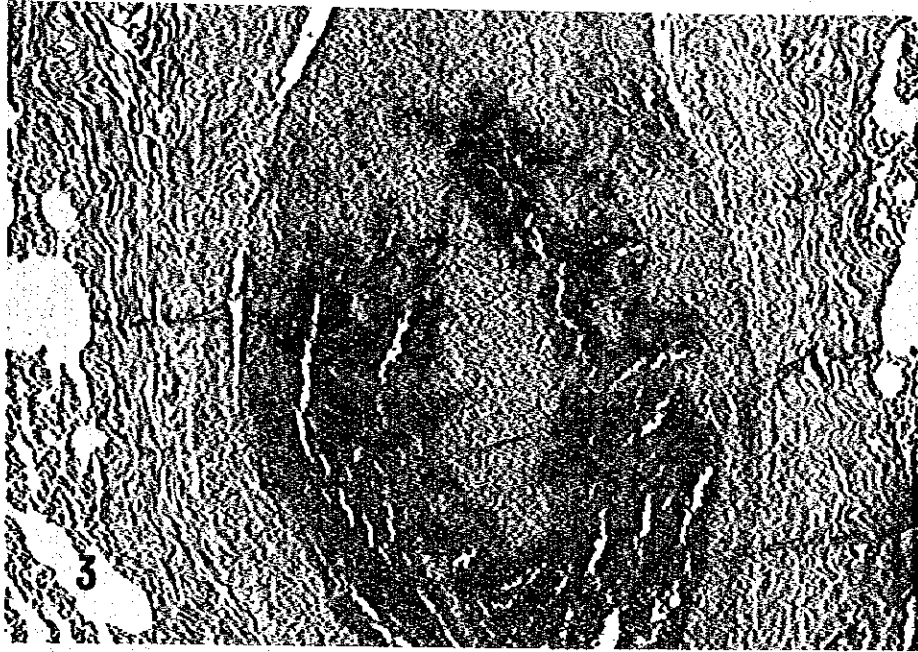


写真3.

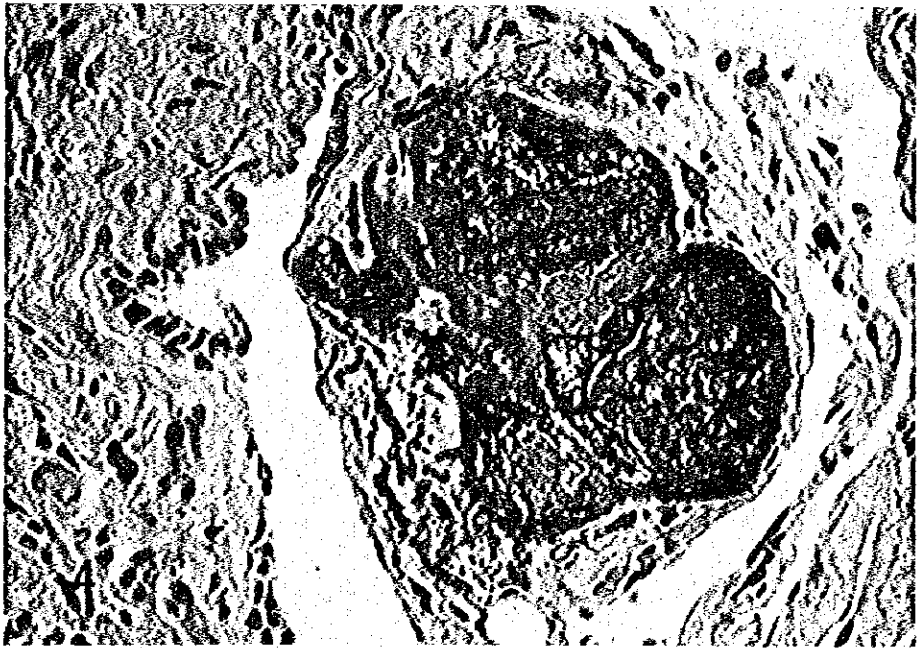


写真4.

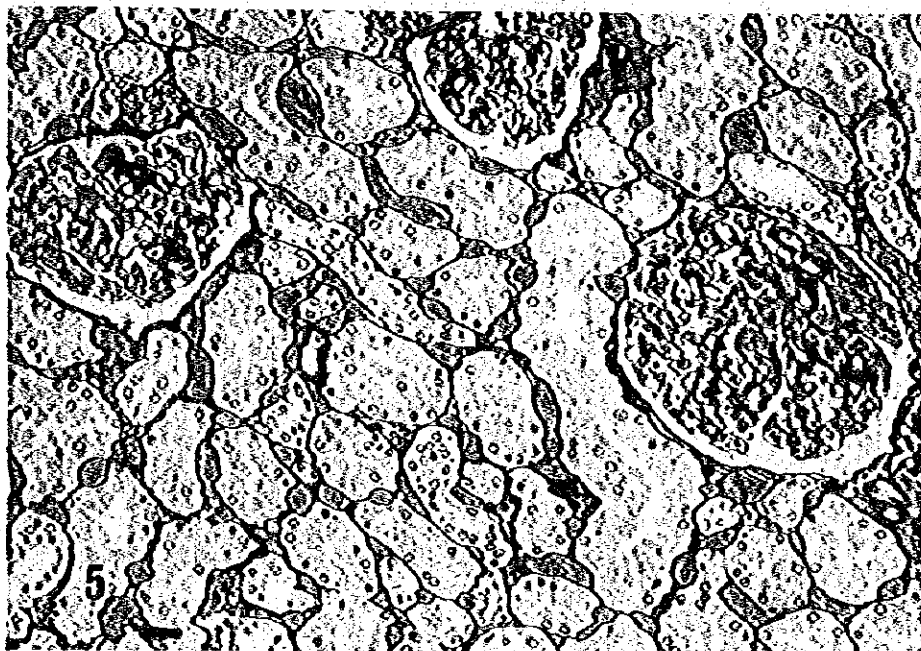


写真5.

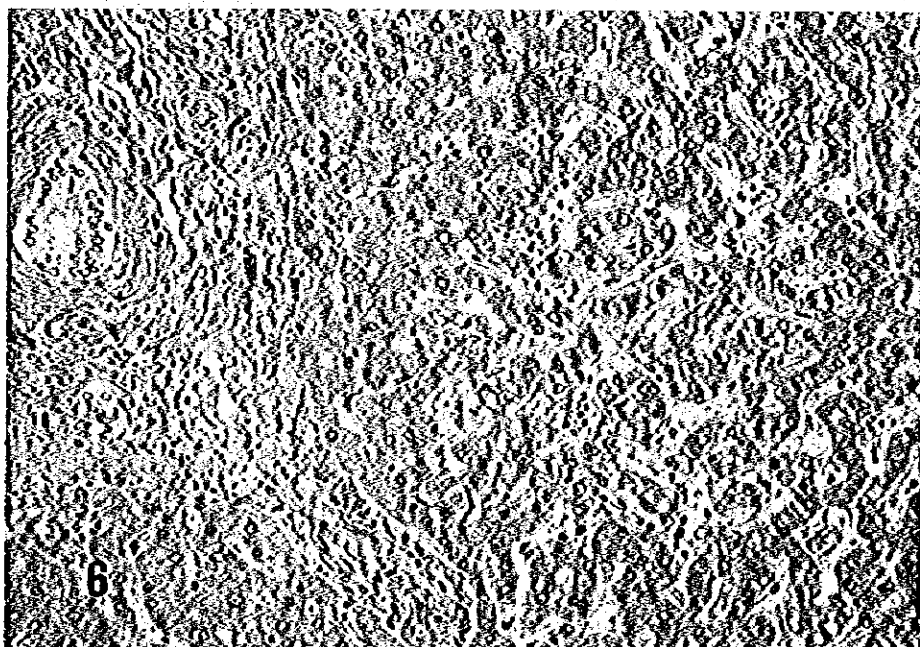


写真6.



写真7.

表7. 肺及び熱傷部皮膚の硫黄成分含有量
(重量%)

	対 照 例	本 症 例
肺 臓	0. 5 3 5	0. 5 7 1
皮 膚	0. 0 5 3	0. 2 6 5

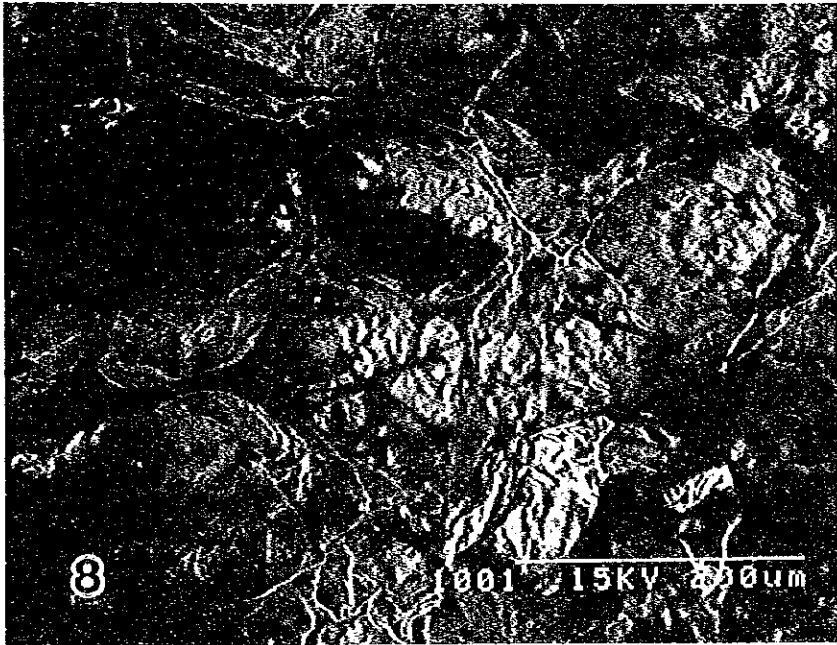


写真8.

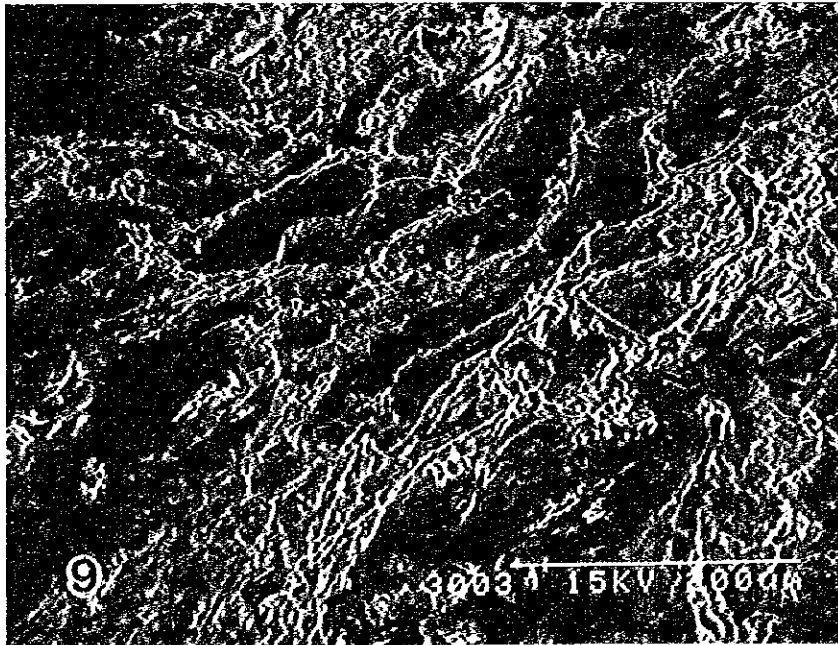


写真9.

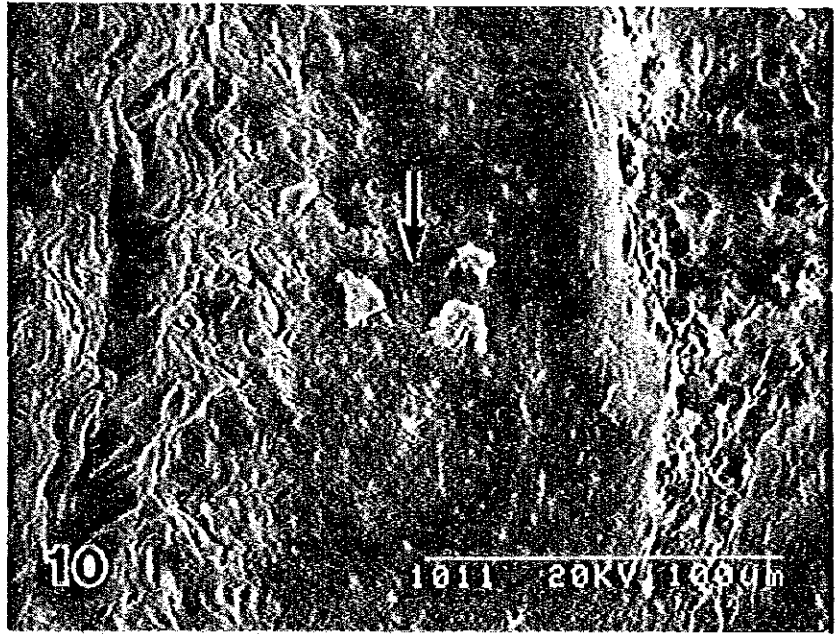


写真10.

図6. 肺臓内褐色顆粒の元素分析

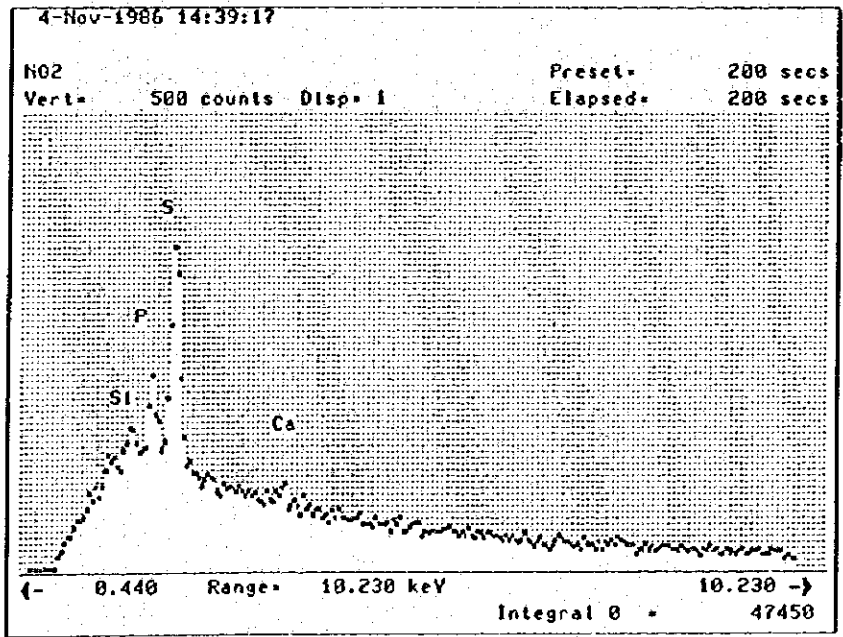


図7. 肺内元素量の分析

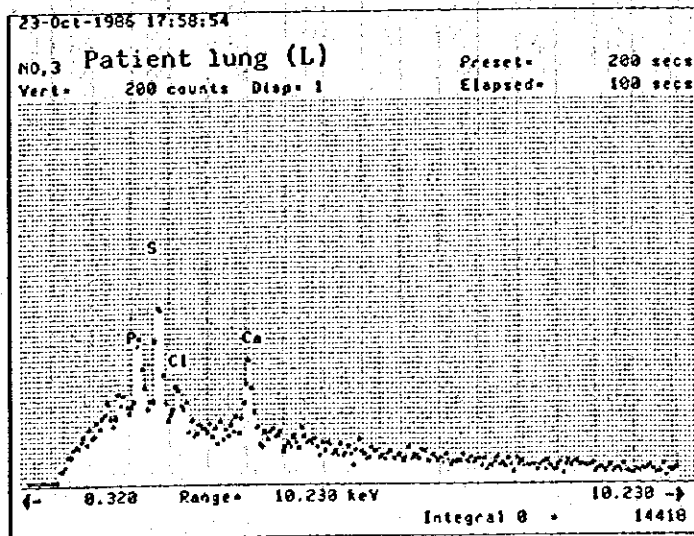
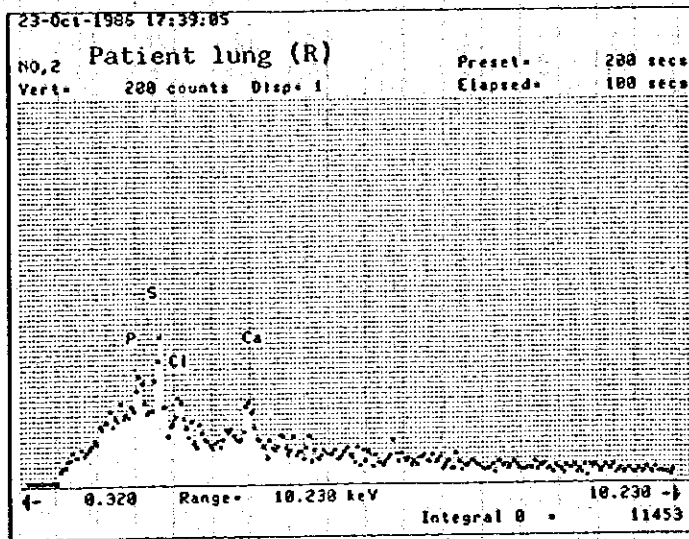
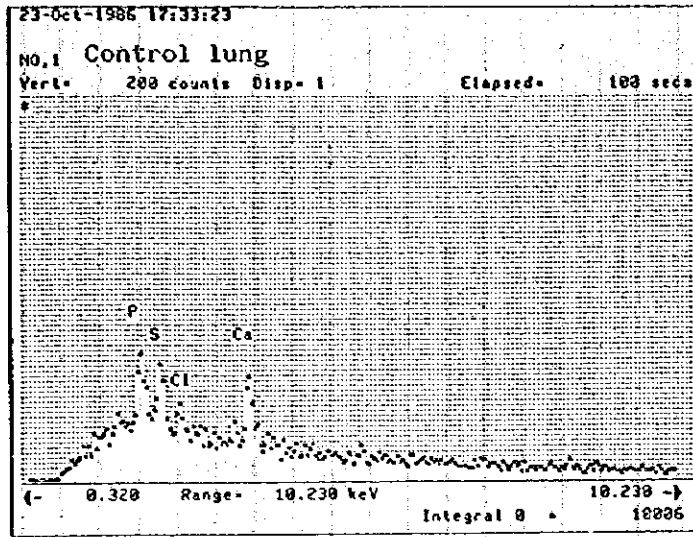


表 8 試料の調整

patient sample (9/6/86)	sample D	sample FD		formalin soln.
	deproteination	freeze-dried		
	wet weight(g)	wet weight(g)	deproteination dry weight(g)	volume(ml)
stomach	0.5272g	0.5228g	0.5114g	0.5ml
liver	0.5077g	0.5300g	0.1692g	0.5ml
muscle	0.5515g	0.5365g	0.2170g	0.5ml
skin	0.5035g	0.5054g	0.3226g	0.5ml
right lung	0.5047g	0.5265g	0.1965g	0.5ml
left lung	0.5034g	0.5112g	0.1733g	0.5ml
right kidney	0.5333g	0.5316g	0.1480g	0.5ml
left kidney	0.5198g	0.5068g	0.1446g	0.5ml

表 9 非暴露对照コントロール

No.

control sample	sample D		sample FD		formalin soln.
	deproteination		freeze-dried	deproteination	
(10/1/86)	wet weight(g)	wet weight(g)	dry weight(g)	dry weight(g)	volume(ml)
stomach	0.4217g	0.3128g	0.0460g		0.5ml
liver	0.4858g	0.3219g	0.0760g		0.5ml
muscle	0.5252g	0.5338g	0.1216g		0.5ml
skin	0.3089g	0.1779g	0.0673g		0.5ml
right lung	0.5393g	0.5550g	0.0469g		0.5ml
left lung	0.5412g	0.5625g	0.0310g		0.5ml
right kidney	0.5350g	0.5072g	0.0807g		0.5ml
left kidney	0.5435g	0.5190g	0.0713g		0.5ml

表10 S04²⁻ Concentration of Autopsy Samples from Cameroon (μ /wet)

	Liver	Kidney(R)	Lung(R)	Muscle	Skin
Patient 01	14.6	13.9	15.4	10.9	8.21
Control 01	5.84	4.85	3.04	3.70	14.7

Patient 01	10.5	12.9	9.09	18.3	11.0
Control 01	N. D.	6.44	2.68	1.52	13.0

Patient formalin Blank μ g/ml formalin	6.52	22.8	8.63	4.70	6.51
Control formalin Blank	N. D.	2.19	1.56	N. D.	N. D.

Patient 02	N. D.	2.54	2.45	Trace	2.31

N. D. ; Not Detect
 Detectable Limit : < 1 μ g/wet g

表11 Chromatograph

LIST WIDTH(S)
ANALYSIS PARAMETER FILE 5

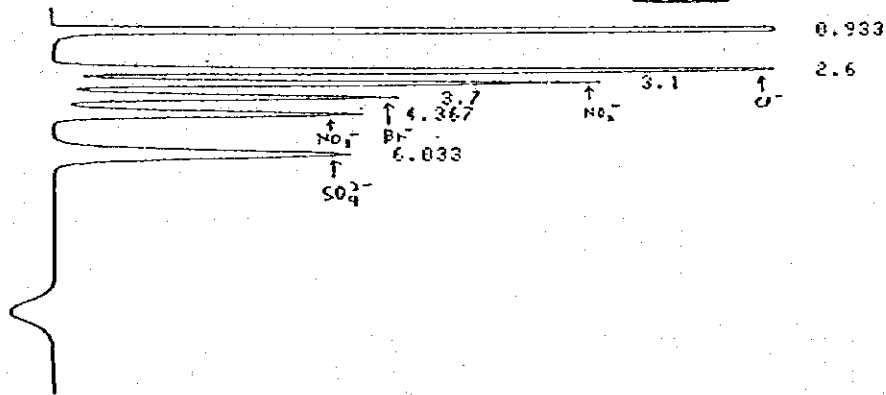
WIDTH	20	SLOPE	80
DRIFT	100	MIN. AREA	500
T.DBL	0	STOP. TH	30
ATTEN	8	SPEED	4
METHOD	41	FORMAT#	0
SPL. WT	10	IS. WT	1

LIST TIME.PRG
TIME PROGRAM FILE 5

0.1 B. ON
6.5 B. OFF

ATTEN(S)=3
ANAL "NI.6"

Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻; 50 ppm.
Br⁻; 51 ppm.
Gain × Range = 0.1 × 4 Us/cm Atten 3



CHROMATOPAC C-83R
SAMPLE NO 0
REPORT NO 2096

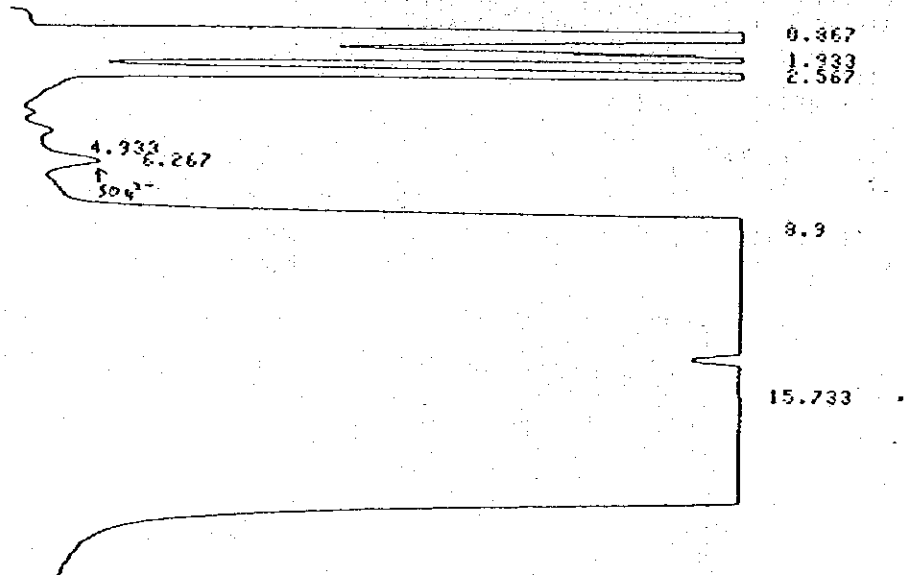
FILE 5
METHOD 41

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	0.933	458426			55.4661	
2	2.6	117531			14.2204	
3	3.1	71151	Y		8.6088	
4	3.7	49389	Y		5.9757	
5	4.367	52598			6.3628	
6	6.033	77411			9.3662	
TOTAL		826498			100	

表12 Chromatograph

SPL.MT(5)=5
ATTEN(5)=9
ANAL "H1.7"

Patient Liver D1
Sul
Gain × Range = 0.1 × 4 μs/cm
Atten 0



CHROMATOPAC C-R3A
SAMPLE NO 0
REPORT NO 2899

FILE 5
METHOD 44
SAMPLE RT 5

PKNO	TIME	AREA	HK	IDNO	CONC (PPM)	NAME
1	0.867	408758				
2	1.933	40065	V			
3	2.567	82837				
4	4.933	571				
5	6.267	1908		1	2.4653	S04
6	8.9	6614786				
7	15.733	6498844	V			
TOTAL		13647766			2.4653	

JICA