

No. 027

フィリピン共和国
 マヨン火山災害対策短期専門家
 総合報告書

平成6年3月


国際協力事業団
 派遣事業部

派 1
JR
94-4

フィリピン共和国 マヨン火山災害対策短期専門家 総合報告書

平成6年3月

864

JICA LIBRARY

1122420 [1]

28403

フィリピン共和国
マヨン火山災害対策短期専門家
総合報告書

平成6年3月

国際協力事業団
派遣事業部



国際協力事業団

2009

序 文

フィリピン国において、1993年2月のマヨン火山噴火に伴う災害は、被災人口 108千人に及び、多くの人的及び経済的被害をもたらした。同国政府は、平成5年7月に我が国政府に対し、降雨による今後の土砂災害への対策の立案にかかる技術指導、助言を求めるため、短期専門家派遣を要請した。

これを受け、我が国政府は派遣を決定し、当事業団は平成5年10月14日から10月29日までの16日間、5名の専門家を派遣した。

各専門家は現地において精力的に活動し、多大な成果を収めた。

本報告書は同派遣専門家の総合報告をとりまとめたものである。本報告書がフィリピン国マヨン火山周辺の今後の防災計画等に携わる関係者の貴重な資料として活用されれば幸いである。

終わりに本件に際し、ご協力頂いた専門家の方々をはじめ関係各位に対し、心から謝意を表す次第である。

平成6年3月

国際協力事業団

派遣事業部

部長 倉持寛子

専門家の構成

フィリピン共和国 マヨン火山災害対策短期専門家

総括	渡辺 正幸氏	国際協力事業団 国際協力専門員
火山学	中川 光弘氏	北海道大学理学部地質学鉱物学科文部教官
河川工学	猪俣 純氏	建設省四国地方建設局企画部企画調査官
砂防工学	馬場 仁志氏	北海道開発庁北海道開発局留萌開発建設部治水課長
予警報	菊井 稔宏氏	㈱砂防・地すべりセンター総合防災部技術課課長代理

まえがき

この報告書はフィリピン共和国公共事業道路省からの要請に基いて派遣されたマヨン火山災害対策にかかる短期専門家の技術指導の成果について述べたものである。同専門家は1993年10月14日から10月29日までの16日間にわたって派遣された。

限られた期間中に中味の濃い報告書を作るべく、派遣期間中は1日も休むことなく行動した。その間多くの方々から情報を頂き、便宜をはかっていただいた。そのおかげで現地を精査し有益な知見を得ることができた。安全で滞りなく、かつ楽しく仕事できたのは公共事業道路省の大臣、アルバイ州知事、レガスピ市長をはじめとする職員の方々、レガスピ駐在の警察軍等フィリピン政府関係者ならびに現地の住民の協力の賜であり、厚く感謝申し上げる。

業務全体の円滑な遂行のための手続きから実務に不可欠な車両の供与にいたる配慮は日本大使館とJICAマニラ事務所ですべていただき、万全であった。

なかでも公共事業道路省に派遣中のJICA専門家岩切哲章・大野宏之両氏には車両ならびにカウンタパートの段取り・重要資料の入手・調査工程の管理・フィリピン政府関係機関への連絡ならびに窓口担当者との協議・会計事務・健康管理等に関する事前準備は勿論のこと調査の全ての過程で全面的な支援を得た。この支援が無ければこのような大きな問題の調査を安全に、しかも現場の中心であるレガスピ市が年に1度のカトリックの祭にわいているときに滞りなく実施することは不可能であった。

重要指導項目の一つである住民の移転問題については、JICA長期派遣住宅技術専門家佐分氏から貴重な資料と助言をいただいた。記して感謝申し上げる。

対象地域であるマヨン火山とその周辺は、災害予防ならびに被害軽減という観点から一住民であれ防災事業の責任者であれ—いまだに緊張が解けない状況にある。緊急事態を避けるための努力は行われてはいるものの、災害がいつ起きても不思議でないという状況に変わりはない。火山活動そのものによる直接の打撃、降雨による被害、噴火で生産されて斜面やガリを埋めている不安定物質が降雨が引き金になって運動する2次的な現象による災害は地域の発展に大きな制約要因となつてのしかかっている。

われわれはそのような制約要因を弱めたり取り除くことが可能であると考え。そのためには地元の市民の強い意志と努力ならびに関係機関が指導的役割を果たすことが何よりも必要であるが、できることには限界があるのも事実であり、一層の協力と援助が必要とされる。

この報告書の主要部分の草稿は1993年の末までに総括担当まで届けられていたが、総括担当が海外の案件を含む別のプロジェクトを抱えていたためにとりまとめが遅れた。関係者に迷惑をおかけしたことをお詫びするものである。

目 次

序 文	
専門家の構成	
まえがき	
図表リスト	1
要 約	3
第1章 専門家派遣の要請とその背景	5
第2章 マヨン火山とその周辺地域	12
第3章 1981/1983年のマヨン火山砂防全体計画	69
第4章 公共事業道路省の事業とその効果	78
第5章 1993年の噴火と災害	89
第6章 河川・砂防にかかる技術指導の視点と成果	92
第7章 土砂災害防止計画の構成	112
第8章 総合防災計画	124
第9章 今後の対応	130
第10章 結論と提言	133
引用および参考文献	135

図表リスト

表-1	1993年噴火災害	6
2	アルバイ州の世帯別所得	22
3	産業別雇用状況	23
4	主要農産物と作付面積	23
5	米の生産性	24
6	家畜の飼育状況	24
7	道路舗装区分	25
8	アルバイ州の企業	26
9	Ramos-Villartaほか(1985)によるマヨン火山噴火史	40
10	マヨン火山の噴火のタイプと噴火形態別の発生頻度	45
11	マヨン火山の歴史時代の噴火前兆現象	46
12	マヨン火山の主な噴火一覧	49
13	噴出量・噴火間隔に着目したマヨン火山の噴火サイクル	50
14	マヨン火山の噴出物の主な流下方向と山頂部の地形変化	53
15	計画対象土砂量	72
16	1992年までに建設された砂防施設等	80
17	マヨン火山の警報レベル	106
18	避難センター	111
図-1	マヨン火山の位置	11
2	マヨン火山とその周辺地域	13
3	フィリピンの気候区分	14
4	レガスピ地域の月平均降雨	15
5	台風の経路	16
6	マヨン火山周辺の降雨および水位観測所位置図	18
7	マヨン火山南東斜面の縦断形	20
8	人口の年齢構成	21
9	マヨン火山の地形縦断図	29
10	成層火山のモデル	31
11	Newhall(1977)のマヨン火山の推定断面	31
12	Operation Mayon	47
13	1982年当時の山頂火口付近の地形	54

1 4	マヨン火山におけるPHIVOLCSの観測網	61
1 5	災害要因別の災害予測図	63
1 6	マヨン火山の災害危険予測図	65
1 7	災害対策協議会の組織構成図	101
1 8	火山防災予・警報連絡系統	105
1 9	ビコール川流域洪水予・警報システム	110
2 0	計画と実行と観測と修正のフィードバックサイクル	113
2 1	災害現象の規模に応じた対応の種類	114
2 2	Fan Segment Shift	117

写真

- 1	マヨン火山 南側から	28
2	マヨン火山 南東側から	28
3	マヨン火山 東南東側から	28
4	山体南側で認められた1814年のラハール堆積物降下スコリア層	34
5	1897年火砕流	35
6	1984年の火砕流	35
7	時代不明の火砕流	35
8	1987年と1984年の溶岩流	36
9	1978年溶岩流先端部	36
1 0	1984年溶岩流先端部	36
1 1	1993年のラハール堆積物	56
1 2	時代不詳のラハール	56
1 3	PHIVOLCS LIGHON HILL の観測所	57
1 4	マヨンレストハウス観測所の保坂式地震計	57
1 5	1993年の噴出物の全貌	58
1 6	1993年溶岩流先端	58
1 7	ボンガ扇状地と1993年溶岩	59
1 8	マヨン火山南東斜面のガリー	81
1 9	ヤワ川下流右岸の状況	85
2 0	ヤワ川取水堰の被災状況	86
2 1	ヤワ橋	88
2 2	ボンガ川	96

要 約

災害は社会の外部負経済の一つと考えなければならない。

災害を内部化できる経済をもった社会を作るか、それが無理なら、社会は危険を前もって避ける仕組みを法と行政の力で実現しない限り災害を防止することはできない。

開発スキームに防災を組み込めという提案が学者や国連関係者からよく聞かれる。しかし、途上国がおかれている厳しい環境を踏まえ、かつ経済学的な考察を加えたうえで提案されているとは思えない。災害を内部化できる能力をもつ社会か、またはそのための資金が外部から容易に得られない限り防災が開発スキームに取り込まれることはないからである。

しかし、現実に存在する社会を火山の加害力から守り、少なくとも噴火やラハールによる災害で死亡するということは防がなくてはならない。そのための手段は、費用を伴わずにできることをまず考えることと、費用を必要とする場合には、費用/効果を最小にする方法をとることになる。

この原則に則って次の提案をした：

- (1) 火山活動とラハールに対して精度の高い予・警報を出せるようにする、精度の高い予・警報が出せればそれを基にした防災活動にはPDCCの高い能力が生かせるからである。
- (2) マヨン火山は山体の形成過程にあるため、形成過程を終えた山体が解体される過程に適用される技術は適用できない。土木工事の計画は山体の地形の形成過程に従順な手法で作られなければならない。
- (3) 防災事業は地域総合開発事業の一部でなければならない。地域総合開発のためのイニシアチブがとられなければならない。防災だけを声高く叫んでも意味はない。
- (4) 全ての事業は地域の総合的な開発をとおして住民の生活レベルの向上を目的としている。事業を実施していく過程で住民の意向をまとめる必要がある。そのための判断の基礎となる知識を増やすことを目的とする啓蒙も事業の重要な一部分である。
- (5) 確立した制度と獲得した技術の運用の面で中央から地方に至るフィリピン政府の担当者の能力は高い。しかし、マヨン火山地域の社会が高い防災力をもつようにするにはより多くの、そしてより効率的な資本と技術の投入が必要である。
- (6) 全ての計画・実行・モニタリングの過程で国際協力を必要としている。
- (7) 緊急に実施すべき事業（9-1に詳述）とくに南東斜面の諸河川に沿って標高100m付近に位置する区間の河道掘削と火山観測の強化のための施設なかんずく北東斜面のトンネルについては無償資金援助による施工が望ましい。

第1章 専門家派遣の要請とその背景

1-1. 災害の概要とフィリピン政府の要請

マヨン火山はフィリピンにある21座の活火山のなかでも最も活動的な火山であるが、1984年に噴火して以来比較的静穏に推移してきた。しかし、1993年2月2日の噴火は死者77名、周辺にある52カ所の避難センターに避難を強いられた人が約12,000家族、約66,000人を数える大きな災害になった。

このような災害を引き起こし、火山周辺の地域社会を不安に陥れる主な原因は次の2つである；

- 1) 火山観測に基づく早期警報が出せなかったという技術的な問題
- 2) 火山の周辺で将来ともに安定した生活を維持していけるメドがたたないという社会的な問題

技術的な問題は、被災者や防災担当者の立場からは噴火の予報が全くなかったということであるが、火山観測を担当する者の立場からは通常どおりのモニタリングをしていたにもかかわらず火山活動が危険なレベルになっているというシグナルが得られなかったということになる。

さらに、火砕流と溶岩の噴出は斜面の植生を荒らし、降雨をうけて土石流やラハールになる不安定な土砂を谷の源頭部に堆積させた。その結果、洪水の量・流出方向が変化して1983年以降に施工してきた砂防設備や河川構造物が損傷を受けあるいは機能しなくなる可能性も考えられる。1981年に策定された砂防全体計画の前提条件が崩れて防災計画が意味の無いものになり、防災事業の方針が立てられないという懸念がある。

生存者は再活動による死亡等の再度災害を恐れて山頂から半径10kmの円で示される危険区域の外にある避難センターで長期の避難生活を強いられた。政府は移住させることを考えているが、移住対象者を満足させる計画はなかなか現実のものにならない。

このような物理的な危険や社会的な困難を軽減し回避するために、最大の危険要素（加害現象）である火山活動にともなう不安定土砂の生産とその流出にともなう災害について現地の状況を調査し、中心的な役割をもつ砂防事業の観点から防災計画を見直して防災事業を立て直すための方向付けが必要と判断された。

フィリピン政府公共事業道路省は1993年4月下旬に火山活動に対する警戒レベルが4から3に下げられたのを期に、JICA長期派遣専門家岩切哲章・大野宏之両氏を含む調査団を編成して現地へ派遣した。調査団は、火山観測事業・土石流/ラハール警報システム・災害危険度評価・移住事業等の必要性を指摘するとともに砂防全体計画の全面的な改訂が必要であるとの結論を得ている。

表-1. 1993年噴火災害（1993年10月1日現在）

資料：PODC Data Bank

人的損害

1) 死亡確認	77
2) 負傷	0
3) 行方不明	0
被災バランガイ数	76
避難人数	3,824
被災家族数	671
避難家族数	671
避難センター数	3
Tabaco	1
Daraga	1
Camalig	1

農産物の損害

	面積	損害
被害総面積	11,916.25ha	
ココナッツ	5,710.00	13,096,700.00
米	4,106.13	14,190,820.80
根菜	127.25	4,027,500.00
野菜	534.58	23,755,964.00
果樹	111.00	5,433,750.00
バナナ	297.00	4,526,118.40
玉蜀黍	954.65	5,456,626.00
アバカ	25.00	105,443.85
ピーナッツ	15.09	93,145.00
園芸花	1.55	66,000.00
パパヤ	25.50	225,412.00
マンゴ	8.50	95,416.20
家畜	1,688	2,196,070.00
養魚池	7,225	19,125.00
森林	350	4,379,315.85
総計		77,667,413.55

このような判断に基づいて、フィリピン政府は1993年7月14日付けで、日本政府に対して次のように専門家の派遣を要請した：

砂防技術者 5名
河川技術者 2名
派遣期間 3週間

1-2. 専門家派遣の決定

フィリピン政府の要請を受けて専門家を派遣する計画は直ちに承認された。フィリピン政府には、11月から始まる台風時期までに対応方針を決めて事業が進められるようにしたいとの希望があったが、国際協力事業団では8月上旬に正式要請書を受領後、災害と防災手段に関する現地の実状に合致した技術指導内容を念頭に人選をすることの方針から専門家チームの編成を行ない10月16日から10月29日までの2週間の派遣を決定した。

うえに述べた「現地の実状に合致した技術指導内容」は次の「1-3. マヨン火山防災にかかる技術移転の実施方針」に述べられている：

1-3. マヨン火山防災にかかる技術移転の実施方針

A. 問題の認識

1. マヨン火山周辺に発生する加害現象が発生する可能性は、

- a) 火山活動（3回・・・28, 93年）
- b) 降雨（2回・・・15, 81年）
- c) 相乗効果（3回・・・68, 84, 93年）

のいずれの場合にも大きい。今世紀中の災害は上に示すように8回を数える。類似の加害現象は今後も発生すると考えなければならない。

どのような加害現象が起きたか？

加害力の強度と作用した地域はどうであったか？

2. 加害現象が災害になる過程は、地域社会が、その発展過程に過去の災害から学んだレッスンをどのように生かしてきたかによる。

災害の程度は防災のために払われた努力の程度に関わる。

加害現象の効果はどのようなものであったか？

加害現象と災害を地域社会の人はどうに考えたか？

防災のために払われた努力はどのようなものであったか？

防災のための努力は何を目的にしたか？

3. 災害は、社会を変化させる。

どのような変化がどこでどの程度あったか？

どのような変化が望ましいか？

望ましい変化をもたらすために何が必要か？

B. 調査業務

4. A. で述べた問題認識に応える調査を行い、対応の方法を時間・地理・社会経済的なつながり等の尺度から提案し、実証的に説明する。

提案は比側と日本側に対するものを整理する。

5. 業務とその分担は次のとうりとする。

a) 総括：1. 技術移転が円滑に遂行されるよう支援し専門家チーム内外の調整をはかる。

2. 既存の防災体制ならびに防災計画を検討評価する。

3. 調査結果をまとめて今後の方針について提案する。

4. 報告書を総括する。

b) 火山：1. 火山の山体形成と解体並びに周辺地形の形成過程をマヨン火山ならびに類似例に即して記述する。

2. マヨン火山とその周辺における地形形成過程に支配的な現象とその効果をマヨン火山に即して記述する。

3. 火山活動に由来する加害現象のモニタリングについて必要に応じて記述する。

4. 火山活動に関する危険区域指定に資する概要調査を行う。

5. 火山災害防止のために今後必要とされる取り組みについて提案する。

c) 砂防A：1. 生産から停止にいたる土砂の運動を物理的にマヨン火山ならびに類似例に即して記述する。

2. 生産から停止にいたる土砂の運動を地形形成過程としてとらえ、災害現象をマヨン火山に即して記述する。

3. 土砂災害による危険区域指定に資する調査を行う。その結果から概略の危険区域図を作成して提案する。

4. 土砂災害防止のために必要とされる今後の調査について提案する。

- d) 砂防B : 1. 土砂災害防止のための行政についてマヨン火山に即して記述する。
2. マヨン火山の土砂災害の実態ならびに土砂流出が災害になる過程を記述する。
 3. 加害現象をモニタリングし、今後の調査や計画の修正に生かす仕組みをマヨン火山に即して提案する。
 4. 加害現象をモニタリングし、予警報を出し、伝達し、記録に残すための仕組みをマヨン火山とその周辺の地域社会の実態に即して提案する。
 5. 緊急避難計画の概要についての提案を行う。
- e) 河川 : 1. マヨン火山周辺の災害の水文学的側面を記述する。
2. マヨン火山周辺の主要河川の河川災害の実態を記述する。
 3. マヨン火山周辺の主要河川の河川行政の実態について記述する。
 4. 河川災害防止のために今後なすべきことを提案する。
- f) 社会 : 1. マヨン火山地域の社会的・経済的な特性を記述する。
2. 災害がマヨン火山周辺の地域社会に与えたインパクトについて記述する。
 3. 将来の類似災害がマヨン火山周辺の地域社会に与えるインパクトについて推定する。
 4. マヨン火山周辺地域の防災行政の実態ならびに問題点について記述する。
 5. 将来の防災行政のありかたについて地域に即した提案をする。
 6. マヨン火山周辺地域の発展（生活水準の向上）の可能性について考察する。

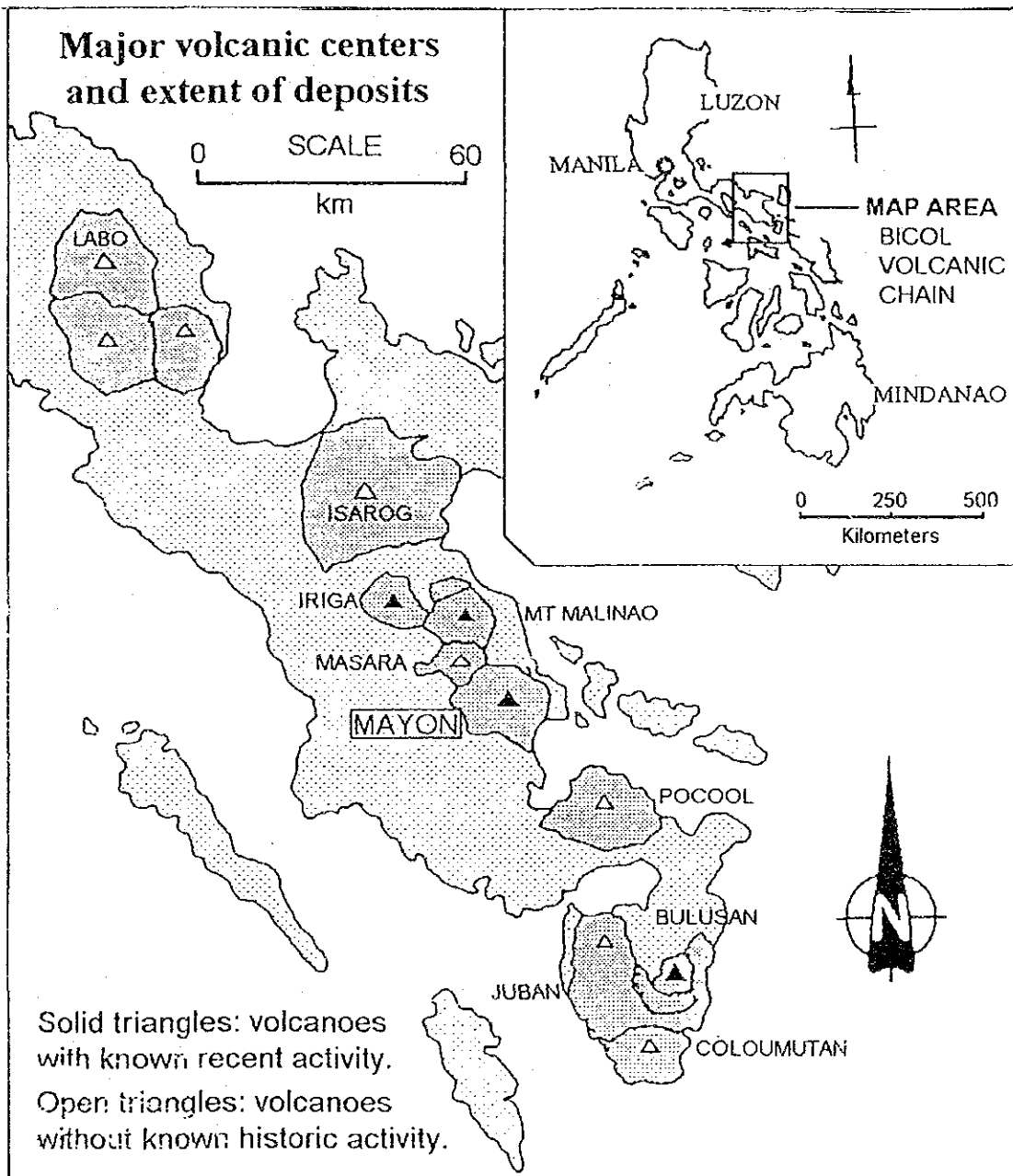
努力したが結果的に、f)の社会学の観点を担当する専門家は得られなかった。その結果、専門家チームは別記のような技術内容をカバーする編成となったが、必要な情報はつとめて収集し解析することとした。

1-4. 調査行程

日 付	専 門 家 チ - ム 班 別			
	団 長	火 山	河 川	砂 防
	渡 辺	中 川	猪 股 岩 切	馬 場 菊 井 大 野
10月14日	MNL着			
	JICA/EOJ			
15日	DPWH,PHIVOLCS,			
	PAGASA			
16日		MNL着	MNL着	MNL着
17日	Legaspi	(PR277)	到	着
18日	DPWH R.V,PHIVOLCS,Legaspi市長,Albay州知事,RDCC R.V,NEDA R.V			
19日	Mayon周回	Mayon周回	Yawa/東部河川	Bonga,Mabini上流
	PPAEP,PDCC			
20日	ヘリコプターによる観察			
	市の祭Ibaloongに参加			
	CPDO	Bonga	Mayon周回	Bonga/Mabini下流Yawa川
21日	Bonga上流,	東部河川	Yawa川中下流	東部河川流域
	南部河川			
22日	Air rec.	Air rec.	Air rec.	Air rec.
	PPDO,DPWH	レポート	Yawa川河口	南部河川流域
			DPWHV	
23日	東部河川	MNL着	レポート作成	レポート作成
	被災者Camp			
	国会議員 E. Logman 氏宅			
24日	帰国			
	レポート作成			
25日	市長報告			
	CPDO,LMD		レポート作成	
	報告会		(DPWH Region V)	

26日	マ	ニ	ラ	到	着
27日	DPWH,	PHILVOLCS	報	告	
28日	Pinatubo	火	山	災	害
29日	J	I	C	A,	大
	帰	国	帰	国	帰
			--	帰	国
			--	帰	国

図-1. マヨン火山の位置



第2章 マヨン火山とその周辺地域

2-1. 周辺地域の立地条件と社会

2-1-1. 立地

マヨン火山 (2421m) はルソン島南端に近いアルバイ州の東側中央部分を占める活火山である。北西側に休火山マリナオ (1328m) が隣接している。アルバイ州は東西側を太平洋、西側を南シナ海に通じるプリアス海峡、南北をソルソゴン・カマリンスール両州にそれぞれ接している。(図-1. マヨン火山の位置)

州の面積約 2,600km² のうち約 500km² (19%) を火山山地が占める。残りは石灰岩の島を含む丘陵性山地とその間の沖積地である。(図-2. マヨン火山とその周辺地域)

アルバイ州の首都レガスピ市はマヨン火山の火口の南南東15kmの山麓に位置し、州と市庁舎ならびに飛行場と港をもち、人口 56,000 をかぞえる中心都市である。マニラ市からは直線距離で 330kmの地点にある。交通は陸路と日に1往復の空路ならびに航路で結ばれている。

2-1-2. 気候

気候はこの地域は年間をとうして降雨があるが、東側で降雨が集中する時期がある (Type II) のに対して西側では降雨の集中が顕著ではない (Type IV)。記録された最大雨量は、日雨量で 484.8mm (1967年Legaspi), 月雨量で 1528.8mm (1975年Legaspi), 年雨量で 5,128.1mm (1976年Malinao) である。年平均降雨量は Legaspi 空港地点で 1948年-84年の平均値で 3,316.9mm である。(図-3. フィリピンの気候区分, 図-4. レガスピ地域の月平均降雨)

フィリピンの洪水災害に大きく影響するのは台風である。台風はマヨン火山区域に毎年のように襲来するが、とくに6月から12月にかけて多く襲来している。(図-5. 台風の経路)

図-2. マヨン火山とその周辺地域

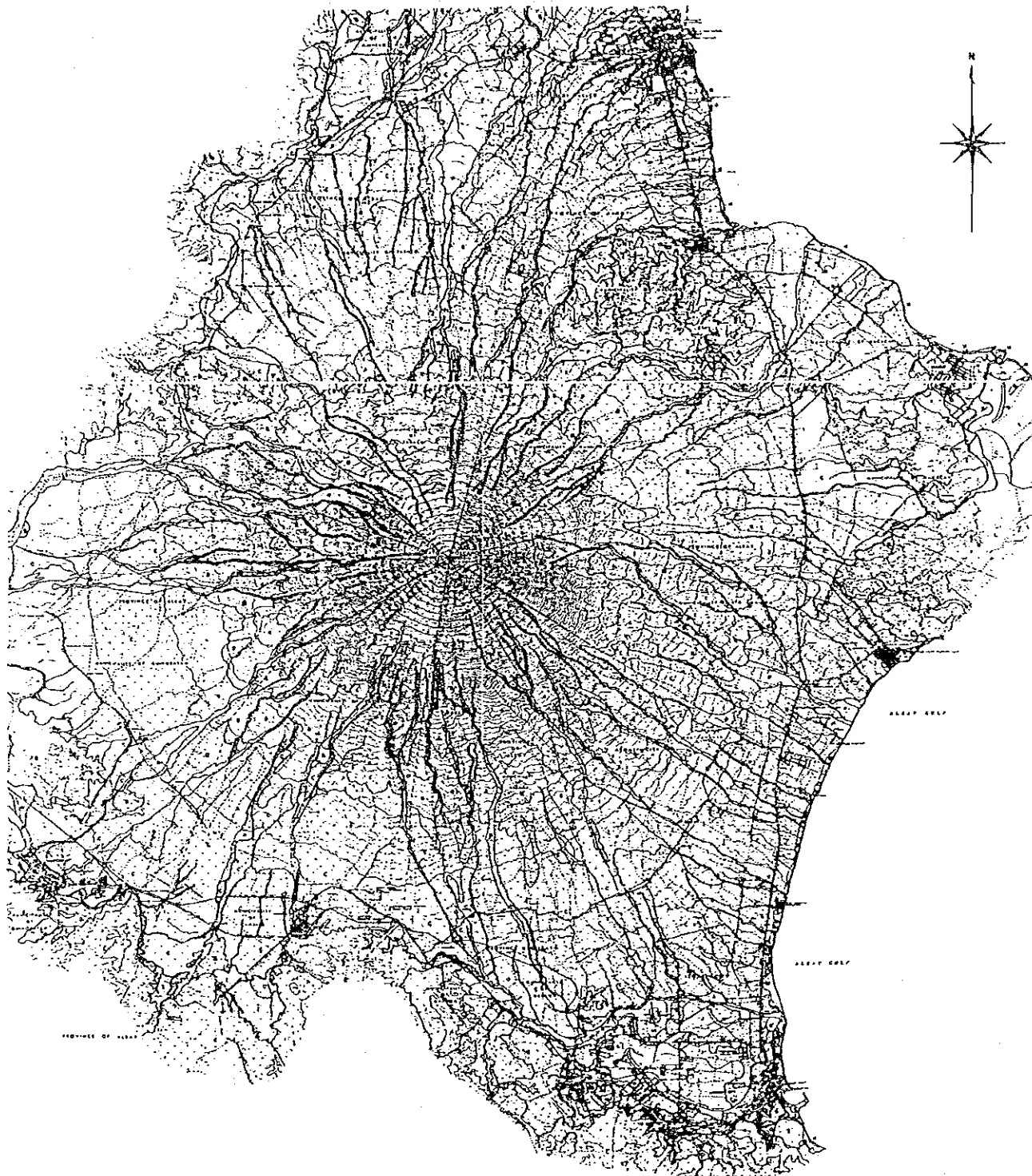
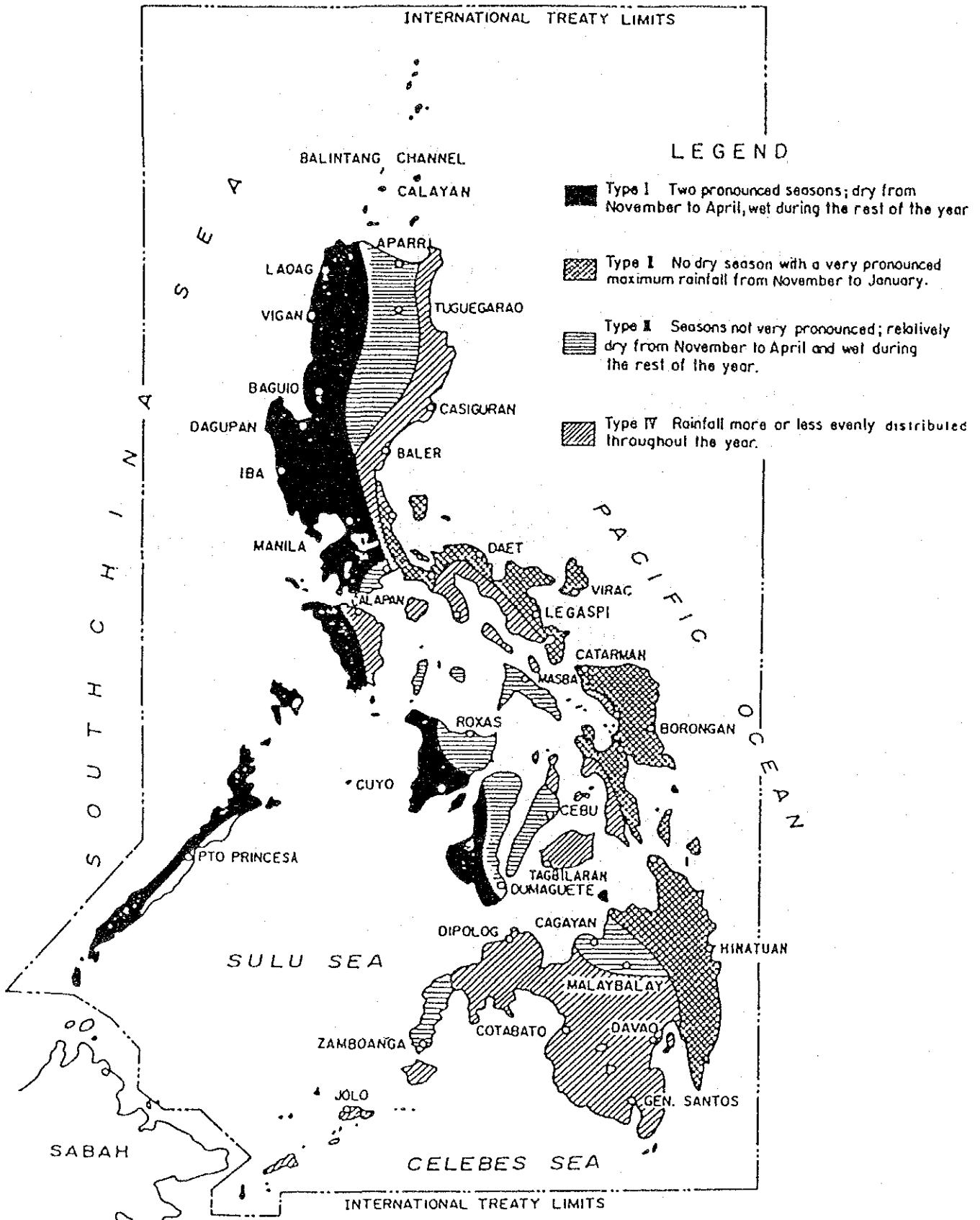


図-3. フィリピンの気候区分



Monthly Rainfall-Depth (1949--84)

Sta. #30 Legaspi Airport, Legaspi City

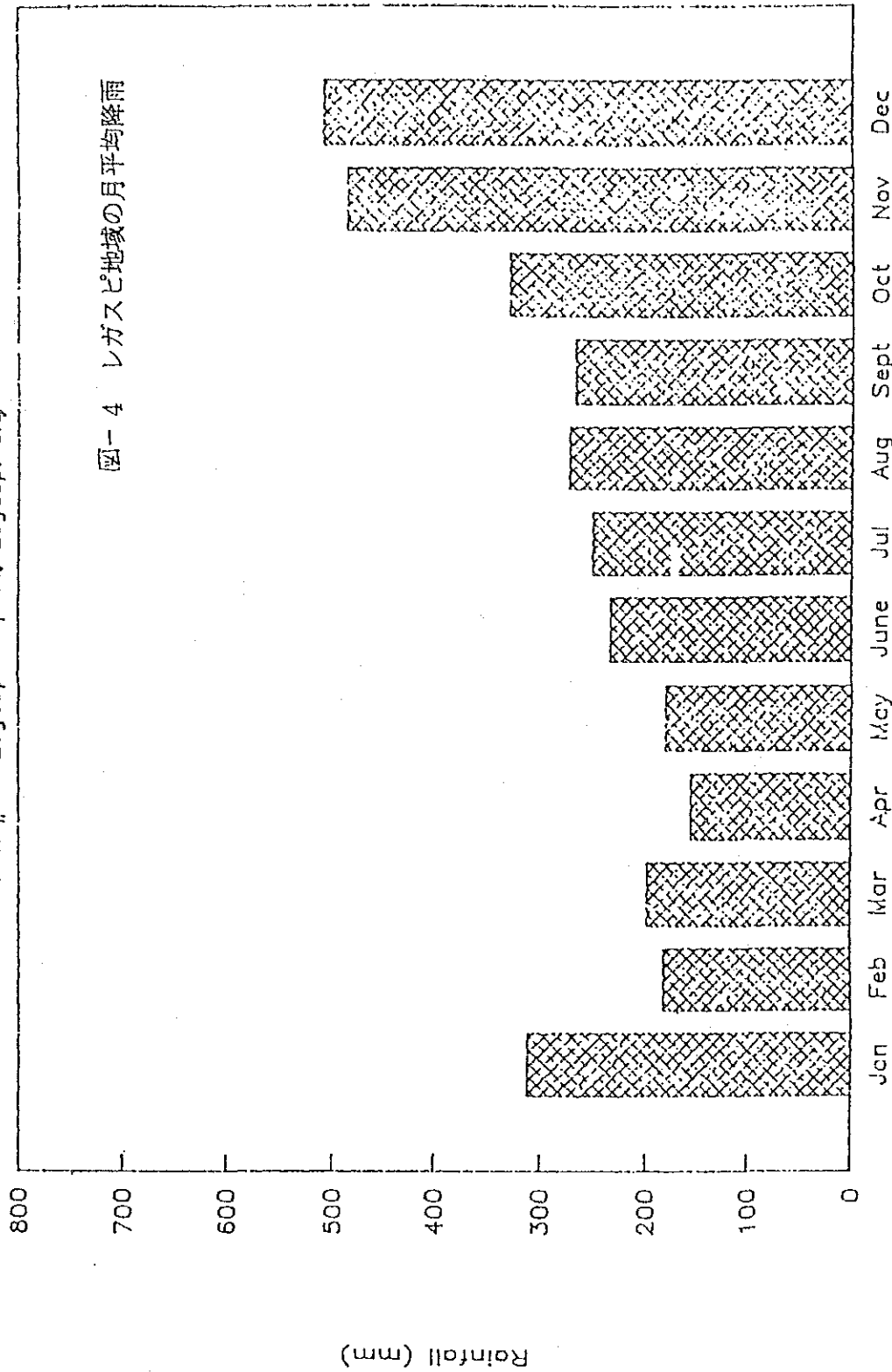
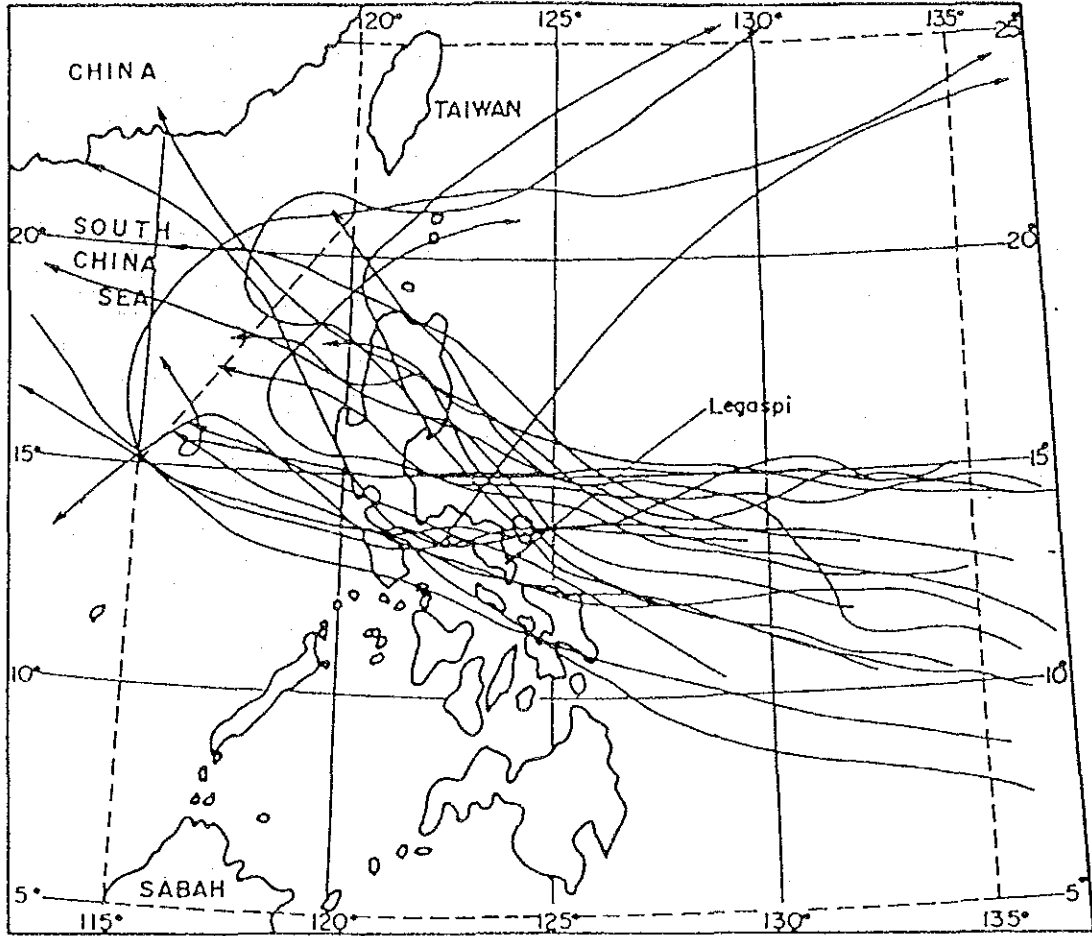


図-4 レガスピ地域の月平均降雨

Mean Annual Rainfall= 3316.90 mm

図-5. フィリピンを襲った台風の経路



2-1-3. 河川の流出量

1) 河川流量

マヨン火山に源を発する河川は水系により、大きく4つに分けられる。

- a. マヨン火山南西部 San Francisco川（1983年JICAレポートではQuinale(A)川）及びその支川
- b. マヨン火山北部 Quinale川（1983年JICAレポートではQuinale(B)川）及びその支川
- c. マヨン火山南部 Yawa川（流域面積74,4km²）及びその支川
- d. マヨン火山東部 Albay湾及びTabaco湾に流出する小河川

今回の派遣期間中では荒廃状況の著しいcの河川、及びdの河川のうちAlbay湾に注ぐArimbay, Buyuan, Basudの各小河川が検討の中心となる。

年平均比流量は、0.04m³/sec/km²から0.1m³/sec/km²の範囲である。流出量は6月と7月に大きく増加し、12月まで増加し続ける。渇水期は2月から5月である。年流出係数は、San Francisco川の観測所とGuinobatanの観測所の平均年降雨量から検討すると0.6から0.7程度である。

水位観測所の位置を図-6に示す。Yawa川では、河口から2.3kmのBogtong地点左岸で、1985年11月から1992年2月まで水位観測を行っているが、現在は行っていない。このデータは現地の住民に依頼して1日3回観測している。洪水の流出解析のデータとしては、信頼性について吟味が必要がある。

なお、1990年にフランスのコンサルタントがまとめた雨量流量等を整理解析した報告書が存在するが、1985年以前のデータを使用している。

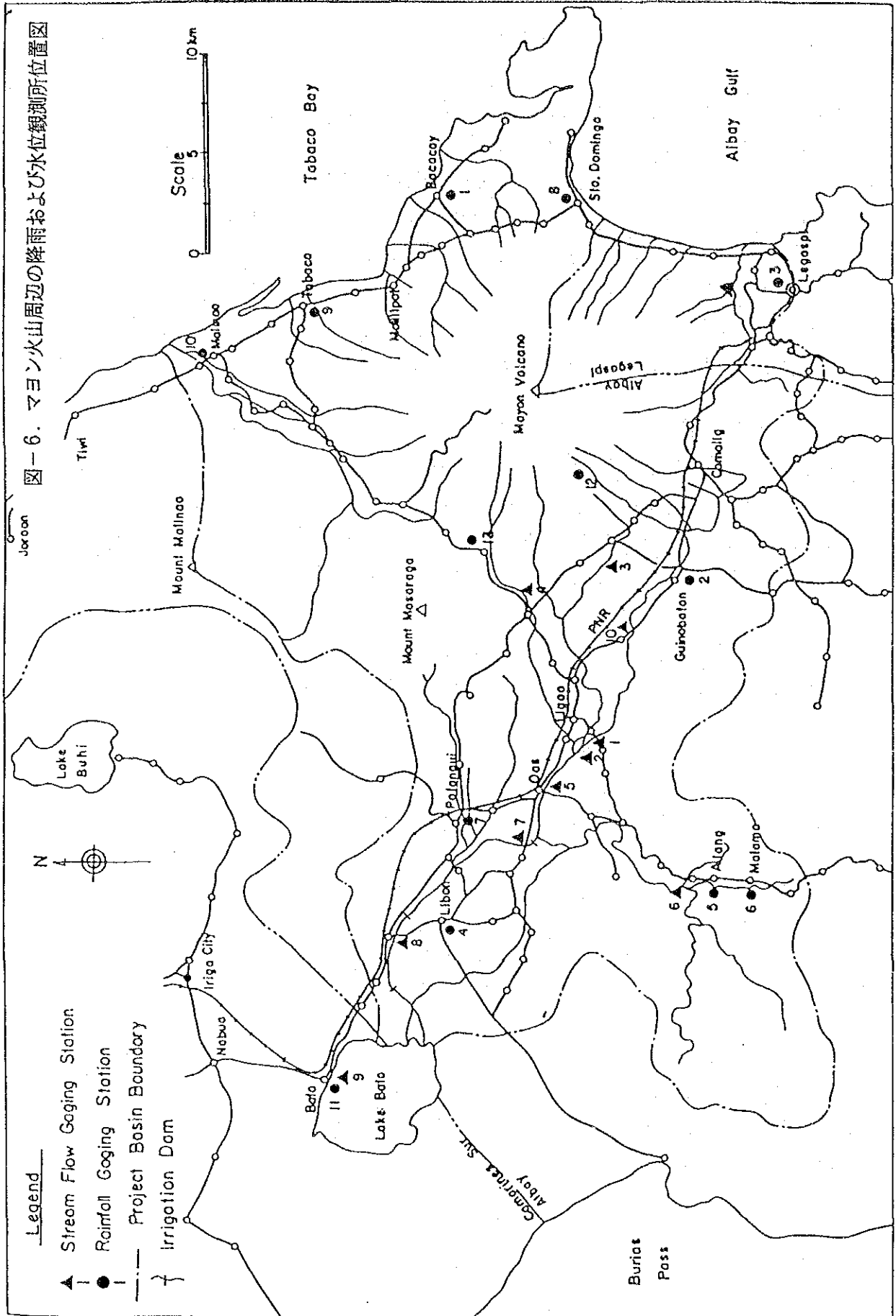
2) 流砂

マヨン火山斜面に源を発する多くの溪流のうちいくつかは多量の土砂を伴って流下する。流送された土砂の一部は、低い丘陵部に堆積し、残りは河道を通じて下流へ運搬される。中流及び下流部での流砂の堆積は河床の上昇を促進し洪水を引き起こしている。

(1) マヨン火山における土砂移動の特徴

マヨン火山は、図-7に示すような縦断形状をもつほぼ完全な円錐形のコニーデ式成層火山である。土砂移動のモードとしては降灰、火砕流、溶岩流ならびに降雨による土石流（ラハール）が挙げられる。

図-6. マヨン火山周辺の降雨および水位観測所位置図



火山活動は、1616年の記録上の最初の噴火以降、今回（1993年）の噴火を含めて45回の噴火が知られており、平均的に10年に1回程度噴火が発生していることになる。これらの噴火の際には、ある程度以上の規模の噴火では火砕流、溶岩流をとまなうことが多い。近年の溶岩流地形は標高300m以上に顕著にみられ、火砕流や溶岩流が谷地形等を埋塞しながら堆積することにより地形条件が大きく変化するとともに、未固結の火山噴出物による大量の不安定土砂は、豪雨時に土石流（ラハール）となって流下することにより災害を引き起こしている。

地形的には、山頂から1000m付近までは崖錐が分布し、ガリーが発達している。これらのガリーはさらに下流になるにしたがって、V字からU字谷となり標高300m付近からの河道は溪床が上昇し天井川になる傾向をもっているために河道として明確ではない場合が多い。

一般的に、土石流の発生・流下・堆積域とマヨン火山における概略の標高は以下のようになる：

- ① 土石流発生域……（15°以上）：～標高600m付近
- ② 土石流流下域……（～5°）：～標高300m付近
- ③ 土石流停止・堆積域（～3°）：～標高100m付近

2-1-4. 人口分布とその地域性

1990年のセンサスによるとアルバイ州の人口は約90万人である。1980年から10年間で州全体で約9.5万人（11.8%）の増加があった。人口はほぼ均等に火山山地を除く周辺地域に分布している。

マヨン火山地域の人口分布は標高100mまでは均等であるが、100mを超える標高では山麓の緩斜面に刻まれた谷にそって標高400mまで分布している。

マリナオ火山の場合はマヨン火山とは異なっている。巨大なドームの集積と粘性の大きい溶岩流が複合した山体であるため山麓緩斜面が極めて少ない。古い火山であるために溶岩が風化し、開析が進んでいて谷密度が大きい。したがって利用しにくい地形になっているため南東の一部を除いて山腹斜面に集落はほとんどない。北東部にTiwiの町を乗せる半径25kmの扇状地があるのが大きな特徴である。この扇状地の北半分には扇頂部まで集落があるが南半分には集落がない。河川は細かく枝分かれして激しい土砂生産が今も続いていることを物語っている。

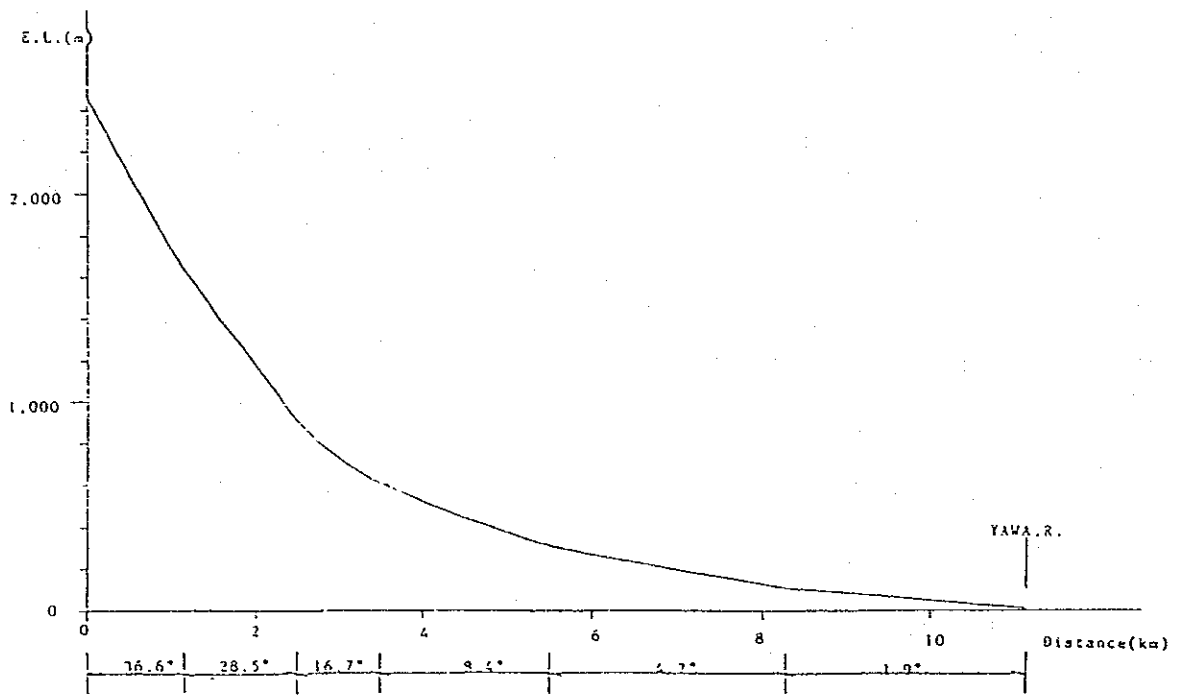


図-7. マヨン火山南東斜面の縦断形

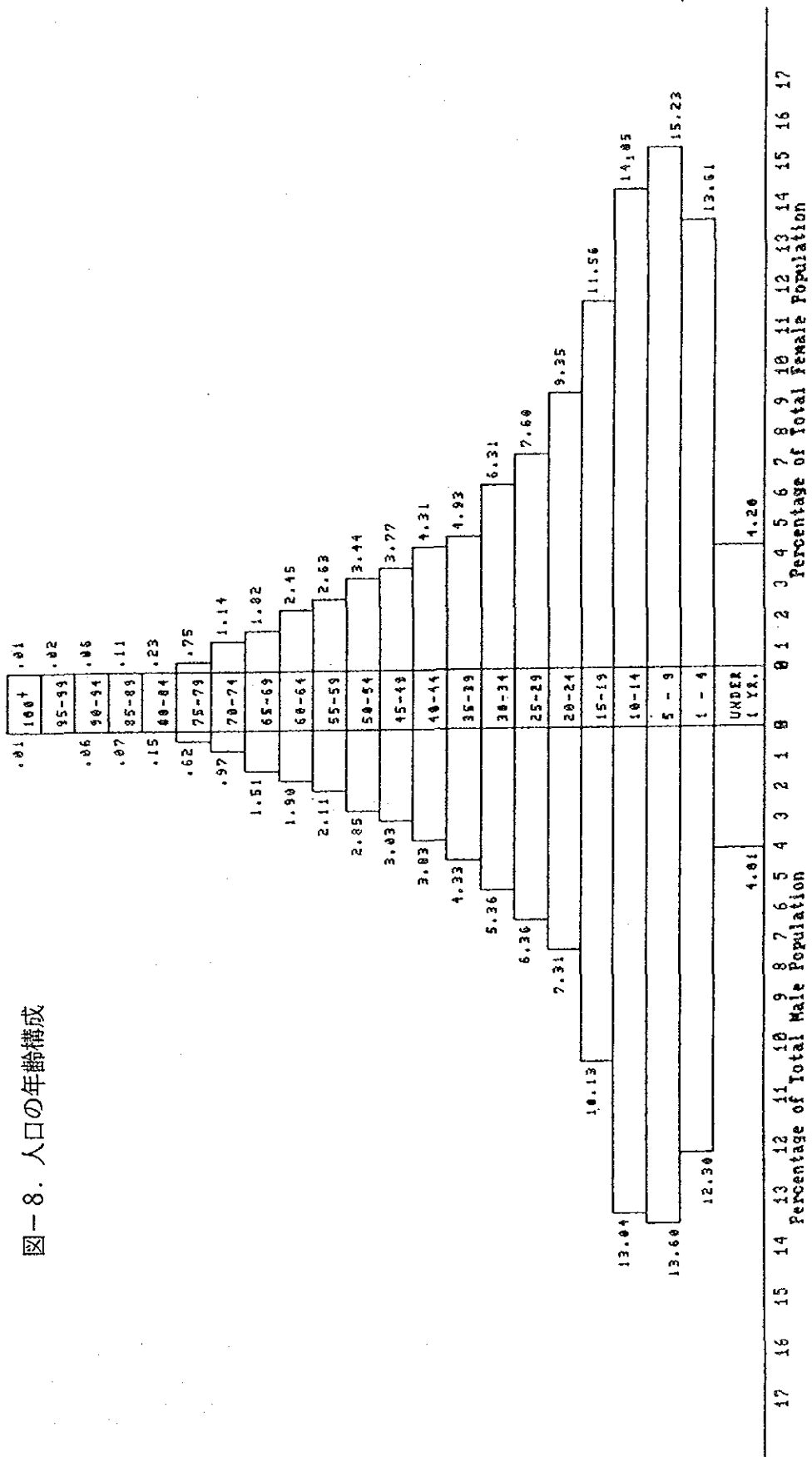
マヨン火山の北斜面とマリナオ火山の南斜面はそれぞれサンビセンテ川とキナレ川によって開析されていて、タバコの町の北で複合扇状地を形成している。この扇状地はマヨン周辺地域ではレガスピ市周辺地域とならんで最も豊かな農業生産地域である。

2-1-5. 人口の年齢構成

1990年のセンサスによると、人口の年齢構成に性別の顕著な差異は認められない。その内訳は1才以上15才未満の人口が男女それぞれ39, 43%, 15才から60才未満が45, 46%, 60才以上が 6.7%, 1才未満がどちらも1%であることである。(図-8. 人口の年齢構成)

Fig. 8 Distribution of Population by Sex, by Percent and Age Group
Province of Albany (1990)

図-8. 人口の年齢構成



この人口構成から次のことが読み取れる。すなわち；

- 1) 20才から40才の年齢層の女性が生む子供の数は3.2人である。
- 2) 15才以上20才未満の人口が3%も減少する。
- 3) 20才以上24才未満の人口も3%の減少を示す。
- 4) 60才以上の高齢人口が少ない。

平均年齢を計算すると約40才とある。

このことからつぎのことが読み取れる。すなわち；

- 1) 多産傾向が明らかである。
- 2) 教育年齢の人口が域外へ流出している。
- 3) 地域社会が経済的に貧しい。十分な栄養・医療が与えられていない。

2-1-6. 産業と所得

アルバイ州の世帯別所得（単位ペソ：1US\$=P ）は1988年の統計でみると表-2のようになっている。

表-2. アルバイ州の世帯別所得

支出額区分	世帯数	比(%)	平均収入	平均支出
10,000以下	14,806	8.7	8,749	6,954
10,000-14,999	38,175	22.5	14,046	12,928
15,000-19,999	48,800	28.7	18,410	17,212
20,000-29,999	32,163	18.9	25,482	24,007
30,000-39,999	18,744	11.0	39,145	34,176
40,000-59,999	9,258	5.5	58,386	51,425
60,000以上	7,877	4.6	108,867	76,470
	169,823			

15才から60才までの人口男女合計41万のうち約85%にあたる35.6万人が雇用されている。その内訳は表-3のとおりである。生産年齢人口の大部分が雇用者であること、雇用者数の約半数が農林業であることと、アルバイ州の農業生産の大部分がコプラと米であることを考えあわせると、この地域で土地が大土地所有者に集中していることが窺える。

表-3 産業別雇用状況 (1990年 単位千人)

産業別	就業者数	比
農林漁業	155	43.5
製造業	51	14.3
エネルギー(電力・ガス・水力)	2	0.6
建設業	13	3.7
商業	51	14.3
運輸・通信	12	3.3
金融・不動産	3	0.8
公務	68	19.1
その他	1	0.3
合計	356	100.0

2-1-7. 教育

アルバイ州には488の小学校がある。非可住地域を25%として単位面積あたりの小学校数をだすと、0.26となる。この数はかなり小さいものであり、教育レベルの後進性が窺える。

2-1-8. 産業

2-1-8-1. 農業

住民の主食は米であるが、アルバイ州の領域2,550km²のうちで米の作つけに供されている農地面積は8.5%にすぎない。うち灌漑されている水田・天水田・陸稲田の面積はそれぞれ191.7(88.4%)、23.5(10.8%)、0.8(0.4%)km²である。

表-4. 主要農産物と作付面積(km², 1990年)

農地面積	米	とうもろこし	ヤシ
2,399.4	215.9	41.1	846.2
(100%)	(9.0)	(1.7)	(35.3)

ヤシは最大の外貨獲得商品であるが、災害・疫病・木の老齢化等のために収量は1989年の 22,900 トンが1990年には 10,600 トンに激減している。

とうもろこしの収穫も病虫害・生産と輸送経費の高騰・市況の低下のために激しい減少傾向がみられる。アルバイ州における主要農産物と作付け面積ならびに米の生産性のデータを表-4と5に示す。

表-5 米の生産性 (ha,人,トン)

灌漑田			天水田			陸稲田		
面積	農民数	収量	面積	農民数	収量	面積	農民数	収量
19,369	18,691	67,021	4,391	5,040	9,976	2,012	2,291	2,887
単位面積収量 (t/ha)		3.5			2.3			1.4
単位労力収量 (t/p)		3.6			2.0			1.3

上の主要作物のほかに商品作物としてアバカがある。アバカは主として船舶用のロープの材料として用いられてきた。栽培面積は 1990 年で 8,600ha あって 248 トンの収量があった。しかし、1960 年ごろから流行だした病害の結果収量は激減しつつあるため、増収策がとられている。

2-1-8-2. 畜産

家畜の飼育状況を表-6に示す。

表-6 家畜飼育状況

家畜	裏庭飼育	中規模飼育	大規模飼育
牛	10,910	479	980
水牛	24,021	81	
豚	58,404	3,481	4,798
羊	5,930	91	186
鶏・あひる	255,833	7,849	94,842
経営者数	91,209	1,048	440

2-1-9. 道路

道路には管理者別に、国道・州道・郡道・バランガイ道の区分がある。アルバイ州内の道路全体としてその舗装状況は表-7のとうりである。

表-7 道路舗装区分 (1989年)

区 分	延 長 (km)	率
コンクリート	8. 4	1. 91
アスファルト	126. 1	28. 89
砂 利	225, 505. 0	51. 64
土	76. 7	17. 56

2-1-10. 鉄 道

鉄道はかつてはマニラからオアスとレガスピを経由してタバコまで運行していたが、度重なるラハール災害に抗しきれず、1960年をもって運行は打ち切られた。したがってアルバイ州の物資の輸送は道路交通と海運でまかなわれている。このことはこの地域の社会・経済開発にとって大きな制約である。

2-1-11. 航空路

レガスピ市はフィリピン航空が毎日運行する航空路でマニラならびにセブと結ばれている。カタンズアンならびにマスバテとの間の航路もあって週に3日運行されている。

2-1-12. 海 運

アルバイ州には国営・郡営・個人所有の港がそれぞれ2, 6, 6箇所ある。外航船はレガスピとタバコの港で停泊できる。

2-1-13. エネルギー

アルバイ州北部の町 マリナオ山の北東にある扇状地の町 Tiwi には 605 メガワットの出力をもつ地熱発電所がある。さらにレガスピの南東ポリキ湾を隔てた州の南端のマニトには 210 メガワットの出力をもつ地熱発電所が完成した。電力使用料金は居住用家屋・商業・工業・街灯・公共建築に区分されてきめられていて、居住用家屋の消費が最も大きい。

2-1-14. 家庭用水

アルバイ州の給水システムにはレベル1, 2, 3の3種類がある。レベル1の給水は手押しポンプによるもの、レベル2は簡易水道、レベル3は配水パイプ網をもつものである。レベル2と3の場合は湧水を水源としている。全ての郡に給水会社があり、塩素処理をした水が供給されているが供給量は需要増に追いつかない。

2-1-15. 企業（商業・製造・サービス）と出荷額

アルバイ州の企業の構成は表-7のとおりである。

企業の種別は商業・製造業・サービス・鉱業・砂利砕石・電力・ガス・給水・建設・運輸・倉庫・通信に区分される。企業の数には1990年で、小企業23, 大企業11を数える。小企業は木工等の手工芸・金属加工・家具・宝石加工等であり、大企業は船舶修理・ヤシ製油・畜産加工・ロープ製造・製紙パルプ・金属・非金属鉱石採掘等の輸出関連企業のほか地熱発電がある。

表-8 アルバイ州の企業

商業	製造業	サービス	その他	合計
3, 940	538	893	56	5, 427

1990年の出荷額は州全体で1,590万ドルであり、そのうち、ココナツオイルとコプラで590万ドル、手工芸品で100万ドルとなっている。ただ、全ての取引と輸出業務がマニラで行われているので附加価値がそのまま州の所得になる構造になっていない。

附加価値の低い製品や1次産品を別にすれば、アルバイ州の製品の品質はお世辞にも優れた買い気をそそるものとは言い難い。手工芸品も衣類も国際競争力はおろか国内においても販路を開拓するのは困難が多いと思われる。農村住民に対する授産事業が計画されて外国の援助もついているが、売れる当てがある商品を作るためには基礎教育と職業教育を徹底するとともにまとまった資本を導入する必要があるようである。

2-1-16. 観光

アルバイ州はマヨン火山とその周辺の地形ならびに海岸の美しさが観光資源であるが、資源を生かすためには、そして外貨を獲得するためにはインフラと観光施設ならびに輸送機構の整備が必要である。現地では案内表示等がかつて整備された時期があったということは明らかであるが、施設はあっても開店休業状態であり、整備状態は決して観光客を大々的に誘致できるようなものではない。火山活動や台風による被害を復旧するとともにそれらの加害要因の予警報の技術の確立がまず必要である。

2-1-17. 財政規模

アルバイ州の財政規模は徴税努力が実って年々拡大している。1990年度の予算は次のとおりである。

一般会計	38.954	百万ペソ
公共事業費	56.441	
教育費	291	
合計	95.686	

この財政支出を人口1人当たりになると、約100ペソである。財政規模は極めて小さいと言わざるをえない。

2-2. マヨン火山

2-2-1. マヨン火山の地形

ルソン島の東南部のバイコール半島にはフィリピン海溝でフィリピン海プレートが東から潜り込むことによって生じた火山列がある(図-1)。この火山列には16座の第4紀火山(170万年より若い火山)があり、そのうち3つ(Iriga, Mayon, Bulusan)は現在も活動中である。マヨン火山はその中でも最も頻繁に噴火を繰り返している活動的な火山である。マヨン火山は典型的な成層火山で、整った円錐形の山体で有名である。

(写真-1, 2, 3,)

図-9にNewhall(1977)によるマヨン火山の3方向の地形断面図を示す。火山体発達前の基盤は北東部のMalilipot地区に標高400m前後の山地が、西部で隣接するMasaraga火山の山麓部(標高200m)前後がある程度であり、その他の地域では標高100m以下の低地から火山体はそびえ立っている。



写真1
南側からみたマヨン火山
(手前の小丘はLignon Hill)



写真2
南東からみたマヨン火山



写真3
東南東からみたマヨン火山
(北東部のガリーが見える)

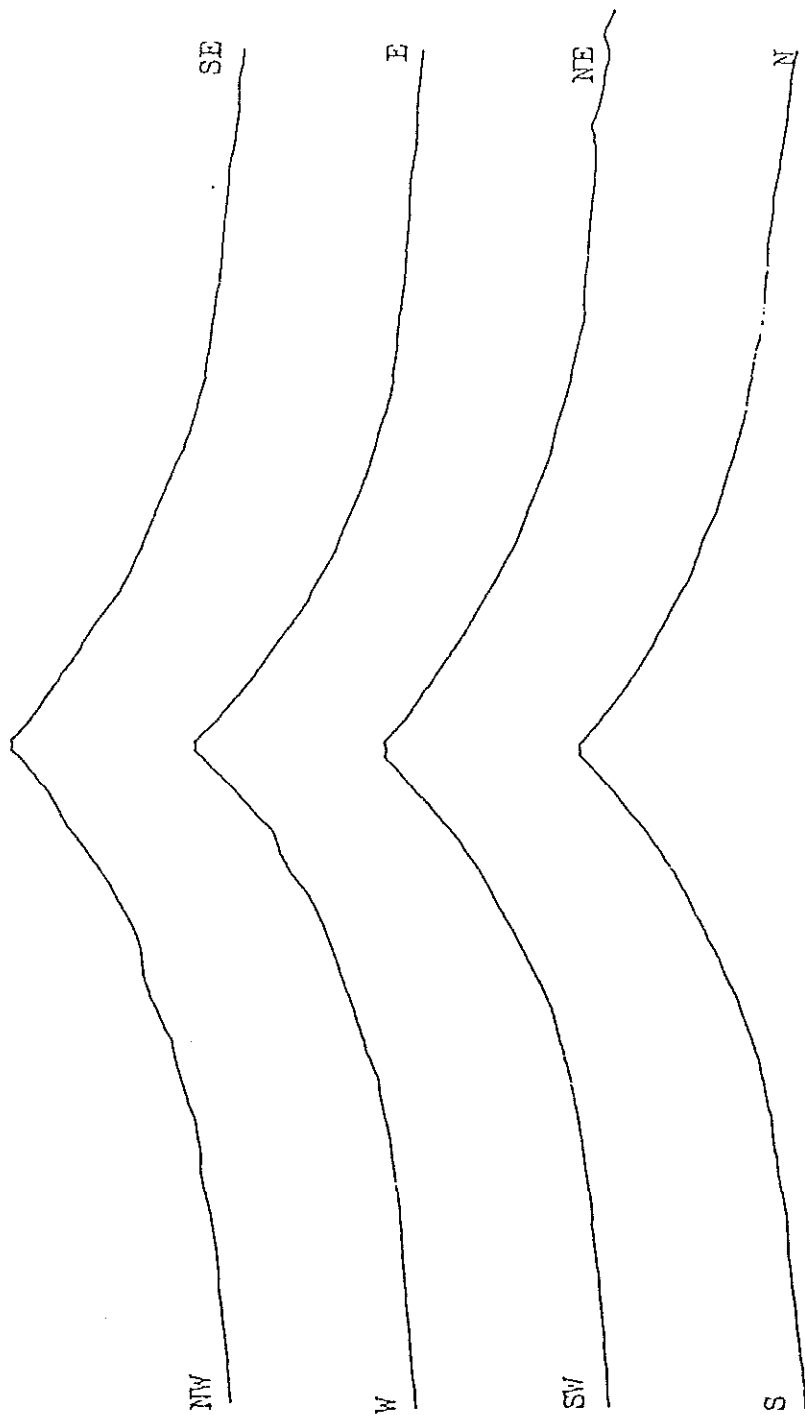


図-9. マヨン火山の地形縦断図

マヨン火山の下部の構造については、NS-S E方向の地溝とする説 (Newhall,1977) と、小型のカルデラがあるという説 (Punongbayan,1985) がある。いずれにせよ、旧マヨン火山の下部に基盤の地形的高まりが存在したとは考えられていない。

現在の山体の諸元は、山頂の海拔高度 2462m, 火山体の分布面積約 250km², 火山体体積は標高 0 m から成長したとして約 100km³, (Newhall,1977) 海面下から成長したとして約 120km³, (Punongbayan) と見積もられている。

Newhall(1977)やPunongbayan and Ruelo (1985)はマヨン火山の山体を地形的に細分し、それぞれは山体の表層部の構成物と密接に関係していることを議論した。Punongbayan and Ruelo (1985)によれば、まず山頂から海拔2300m付近までの平均39度の急傾斜地にはアグルーチネイト（降下した高温の火砕岩—マグマ片—が堆積後に溶けて固結したもの）が卓越し、海拔2300から2000mの平均35度の斜面では降下火砕岩および溶岩流から構成され、海拔2000から500mの平均22度の斜面は降下火砕岩よりも溶岩流が卓越するようになり、さらに火砕流堆積物も認められるようになる。火砕流堆積物はそれより低い海拔500~300mの平均6度の緩斜面で溶岩流とともに卓越するようになる。それより海拔の低いところまでは溶岩流は到達しておらず、海拔300~200mの斜度が4.5度の緩斜面では火砕流とともにラハールが分布し、斜度3度前後の海拔200m以下ではラハールが卓越するようになる。これらの斜面の傾斜と表層部の堆積物との相関は、多くの成層火山体で認められる現象であり（図-10）、それぞれの堆積物の降伏強度と密接に関係している。図11にNewhall(1977)によるマヨン火山の推定断面図を示した。

既に述べたように、マヨン火山は整った円錐形を呈しており、側噴火をおこなったような山腹の火口や火山体は認められない。ただ山体の南東部から南西部にかけてLignon Hillに代表される比較的新しいと考えられる3つの小火山体が存在する（Newhall, 1977）。これらはマヨン火山の一部とみなされているが、活動時期および火山岩の化学組成を検討しなければ断言できない。また山体崩壊があったことを示す馬蹄形火口などの顕著な火山性の凹地形は山頂火口を除いて認められない。

山麓部から山体にかけて、山体を中心として放射状にいくつかのガリーが形成されているが、それほど深いものではない。とくに山体北西部のガリーを除いて、後述するように、これらのガリーは噴火活動にともない形成されたと考えられるものが多く、噴火静穏期の浸食作用によって形成されたと考えられるものは少ないと推定される。

以上述べた地形的特徴からは、マヨン火山は主として中心火道からの噴火により形成された典型的な成層火山で、現在は浸食作用よりも噴火による堆積物の供給が勝る、火山体が成長中の火山であると結論づけられる。

2-2-2. マヨン火山の地質

マヨン火山は山体の開折はほとんど進んでおらず、火山体の内部構造を調べるには適さない。そのため火山体の地質学的研究については、全般についてAbella(1883, 1885)、Faustino (1929)、COMVOL(1975, 1981)およびNewhall(1977)の諸研究があるが不十分である。

マヨン火山のように新しい噴出物に覆われている火山では、山麓部のテフラ（降下

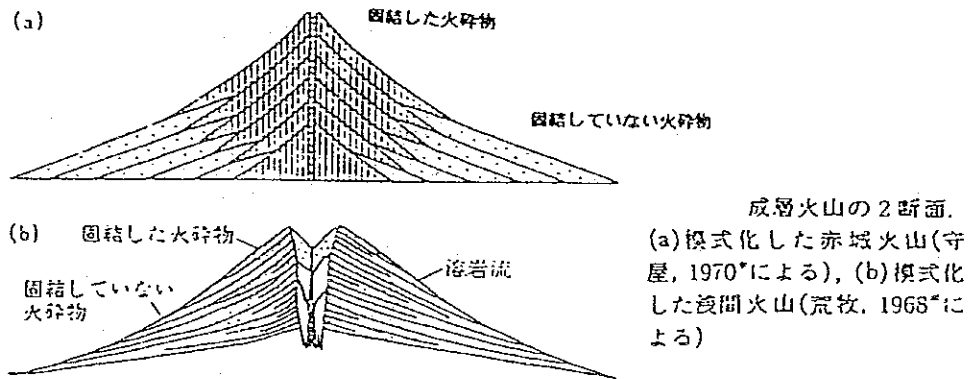


図-10. 成層火山のモデル

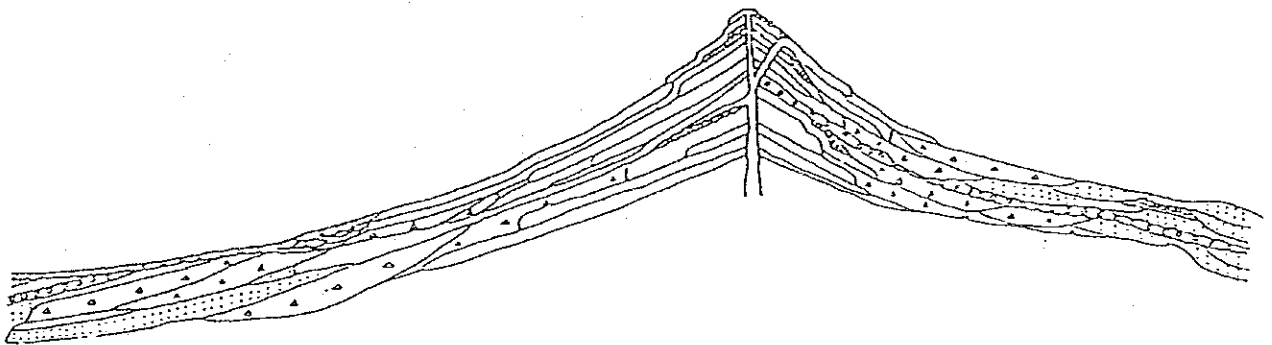


図-11. Newhall(1977)のマヨン火山の推定断面（山麓部に火砕流・ラハールなどの固結の程度の小さいものが分布。側噴火を想定しているが根拠がない。）

火山灰)に関する研究が、火山体の形成史を明らかにするために有効であるが、これまでそのような研究は行われていない。著者の限られた調査においても、山体の南～南西山麓においてテフラ層の露出が見られる(写真4)。今後、テフラに関する基礎的な研究が望まれる。

マヨン火山の活動開始時期は明らかではない。現在のところ、露出している噴出物で最も古いと考えられているものから、 5050 ± 250 年の放射性炭素年代が得られている(Meyer, 1985)。Catane(1987)は1776年から1984年までの噴火年代と噴出物量をまとめ、マヨン火山はほぼ定常的(噴火間隙および噴出量について)に噴火しているとした。その噴出率は $0.14 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($4.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$)であり、この噴出率で火山体の体積を割ることにより、約25000年前から火山活動が開始したと推定できる(Ramos-Villarta et al., 1985)。一方、Punongbayan(1985)はマヨン火山の噴火史をまとめ、主要な噴火($> 2 \times 10^7 \text{ m}^3$ 以上の噴出物量の噴火)の噴出量と噴火休止間隔の関係から、噴火開始は14000年前から52000年前の間であると見積もった。噴火開始を最も古く見積もったのが、Newhall (1977)による約7万年前である。これまでの研究者の見積もった噴火開始年代から、マヨン火山の噴出率は $1.4 \sim 4.8 \times 10^9 \text{ m}^3 / (1000 \text{ 年})$ であり、この値は日本で最も活発に活動を続ける伊豆大島火山の数倍である。

この数万年の間、マヨン火山は山頂火口から主としてブルカニアン型の爆発的な噴火により降下火砕物(写真4)、火砕流(写真5, 6, 7)および溶岩流(写真8, 9, 10)を流出している。

一方、Bicol半島の他の火山ではマヨン火山とは異なる噴火様式をとっている。たとえば、Bulsan火山はIrosinカルデラの後カルデラ火山であり、このカルデラ形成に関連した大規模火砕流(イグニブライトとも呼ばれる)が周囲に堆積している。またマヨン火山の北西のIriga火山では、大規模な山体崩壊(1888年の磐梯山の噴火と同じ活動)を起こしている。しかしながら、マヨン火山では噴火様式が過去に異なっていた可能性は少なく、歴史時代と同様の噴火を繰り返したと考えられる。この推定は次のような証拠による。

- (1) マヨン火山では噴出中心の移動はない：地形的にマヨン火山は完全な円錐形であり、地下に別の大型の火山体が存在していた証拠はない。ただしLighon Hillのような玄武岩質単成火山(一連の1回の噴火で活動を終える火山)が埋跡されている可能性はある。

- (2) マヨン火山では側噴火が起こった可能性は少ない：これは例えば、富士山の宝永の噴火のように、山麓部から噴火することである。このことも、山腹に噴火口および側噴火を示すような凸状の地形的もりあがりは存在しない。
- (3) マヨン火山では大規模な噴火（歴史時代最大と言われる1814年の噴火を大きくうわまわる）が起こった可能性は少ない：山体に径数kmに達する火口は存在せず、山麓部に大規模火砕流や、長距離にわたり流下した溶岩流も認められない。
- (4) マヨン火山では山体崩壊は起こっていない：大きな崩壊地形、あるいは馬蹄形火口は認められず、また山麓部に山体崩壊にともなう岩屑流堆積物もない。

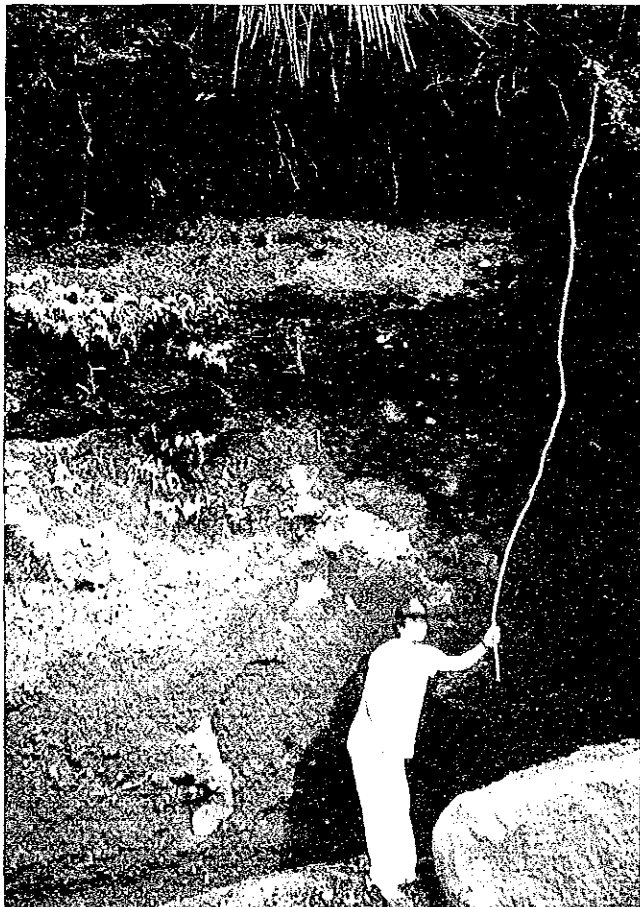
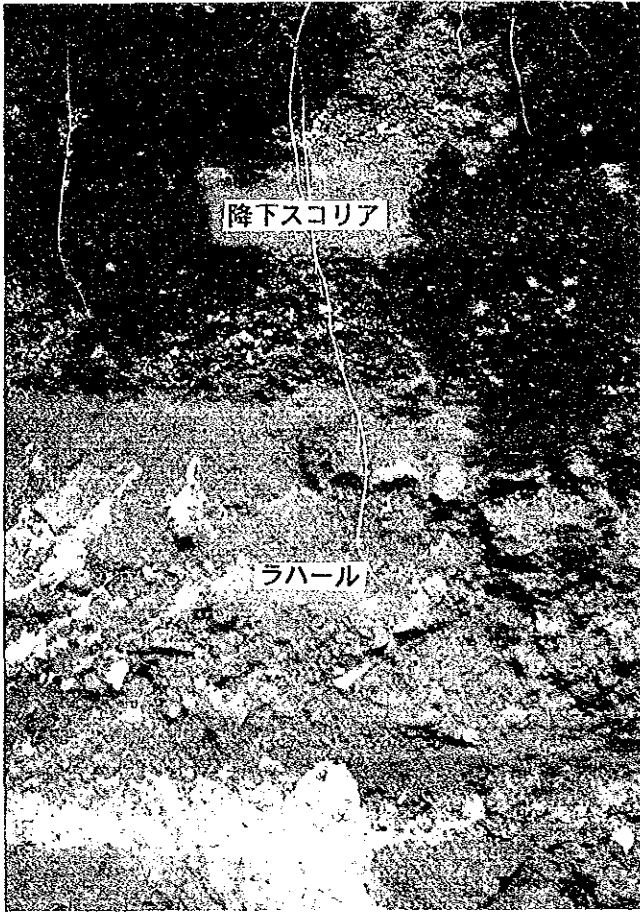


写真 4
山体南側で認められた1814年と
考えられるラハール堆積物と上位の
降下スコリア層



写真 5
1897年火砕流 (STO DOMINGO)
(歴史時代、最大の火砕流)



写真 6
1984年火砕流 (Bonga Gully)

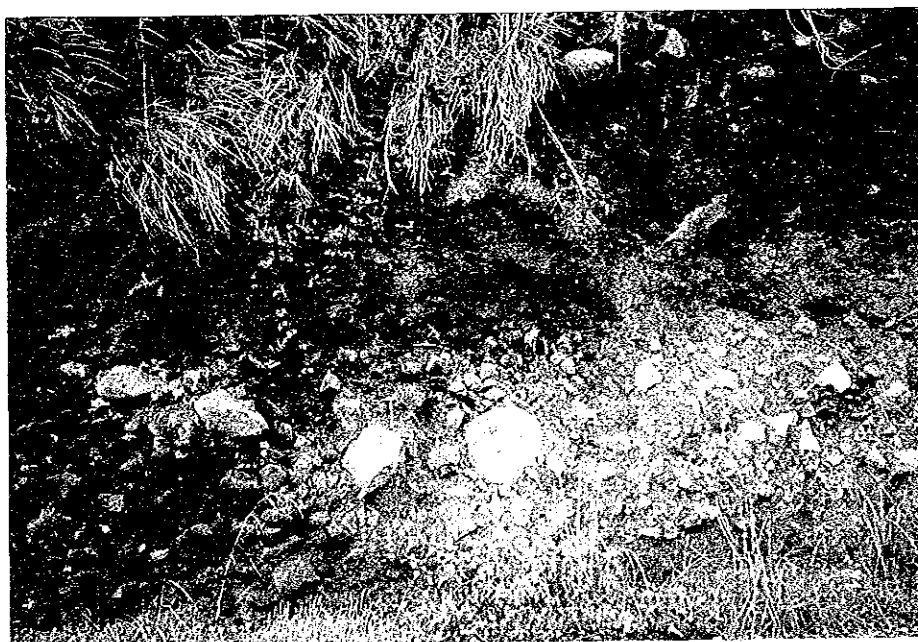


写真 7
時代不明の火砕流
(block- and ash flowと
呼ばれるもので、崩落型火砕流の典型)

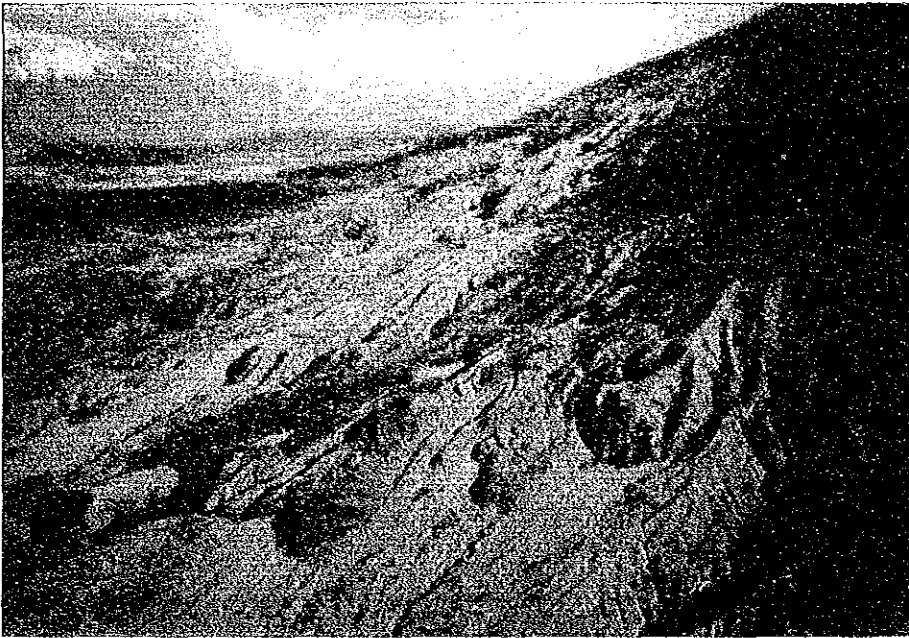


写真 8
1978年と1984年溶岩流



写真 9
1978年溶岩流先端部
(草地は1968年火砕流台地)



写真 10
1984年溶岩流側端部

以上のことから、マヨン火山の火山地質的特徴は次のようにまとめられる。

- (1) 噴火は単一の火道で集中して起こった。
- (2) 噴火様式は玄武岩質安山岩質マグマによる爆発的な噴火（ブルカノ式噴火）であり、噴火口周辺にアグルーチネート（溶結降下火砕岩）を堆積させ、山麓部に火砕流および溶岩流を流下させた。
- (3) 噴火の規模は平均すると0.01~0.1km³程度（噴火規模をあらわすVEI指数では2~3）である。
- (4) 大規模な噴火はこれまでのところ1814年クラスの噴火が最大で（体積0.1km³程度）あり、例えばピナツポ火山1991年噴火の1/100の規模である。
この噴火の特徴が完全に近い円錐形の火山体が形成された理由であろう。

2-2-3. マヨン火山の噴火の特徴と災害因子

1) マヨン火山の噴火史と噴火のタイプ

マヨン火山の噴火史についてはNewhall(1977)やRamos-Villarta et al.(1985)のすぐれたまとめがある。これらは岡田(1993)によって日本語でも紹介されている。

記録に残る最も古い噴火は西暦1616年である。詳しい噴火の記述は1776年にはじまる。表-9にRamos-Villarta(1985)のまとめた、噴火の年代、前兆現象、噴火のタイプ、噴火随伴現象のまとめを示す。これらの記録をもとに、岡田(1993)が噴火タイプをまとめたものを表-10に示す。

これらの図表では噴火のタイプとしてストロンボリ式、ブルカノ式およびプリニー式と区別しているが、一連の噴火で噴火のタイプが変化することがあり、1つの噴火タイプで記述することはむづかしい。表-10の噴火タイプは、噴火の大きさを一言で記述するためにこの分類を用いているようである。

これによるとマヨン火山の噴火はブルカノ式の噴火が最も多い。この噴火では山頂火口では赤熱した岩塊（マグマ片）を爆発的に放出し、それとともに火砕流が発生する。そして溶岩流が流出し、噴火が終了することが一般的である。火砕流は急斜面を流下中の溶岩流の先端が崩落することによっても生ずる。

マヨン火山で例外的な大規模な噴火は西暦1814年の噴火である。この噴火は表3の分類ではプリニー式とされている。この噴火により放出された噴出物量は 1.6×10^8 m³程度（Punongbayan, 1985）あり、ピナツポ火山1991年噴火の1/100以下の規模である。この噴火では、溶岩流が流下していないことも、噴火規模とともにマヨン火山では例外的な噴火である。

2) 噴火の前兆現象

マヨン火山の噴火の前兆現象についてもオペレーション・マヨンの中にRamos-Villarta et al. (1985)によってまとめられている(図-12, 表-11)。主な前兆現象としては、地震(Earthquake)、鳴動(Rumbling)、火口赤熱(Glow)および噴煙(Smoke)であり、その他、火口周辺の隆起(Tilt)、火口周辺での割れ目の形成(Fissuring)、山頂周辺の落石(Rockfalls)および動物の異常行動があげられている。これらの前兆のうち、動物の異常行動を除いて、いずれも地下深部から山頂火口へのマグマの上昇に対応すると考えられる現象である。

岡田・大島(1993)はこのうち前4者についてまとめた(表-11-1)。そして彼らは、これらの4項目が総て前兆現象として出現することはまれであるとした。しかしながら、彼等も述べているように、例えば地震については山麓部での有感地震の記録であり、前兆地震の有無を議論するには不十分なデータである。火口赤熱や噴煙などの山頂火口での諸現象は天候によって観察できない場合もある。後述するように、PHIVOLCSが中心としてまとめたマヨン火山の観測・災害対策の指針(オペレーションマヨン)では、これらの前兆現象が観測されることを重要な前提として挙げている(表-11-2)。しかしながら、1993年の噴火では前兆現象を検出することはできなかった。

3) 噴火の規模と間隔

Punongbayan(1985)は1616年以降、記録されている44回の噴火のうち、噴出物量に注目して、1984年の活動のうちphase1の時期の噴火以上の噴出物量($>2 \times 10^7 \text{ m}^3$)を持つ噴火を、主要な噴火とし、それが17世紀以降1984年まで20回あったことを示した。それぞれの噴火年、間隔、噴出物の体積、噴火様式の変化を表-12に示した。そして噴火休止期の長さ(間隔)の変化に着目して、1800年以降5回の活動サイクルがあると主張した(表-13)。

そのサイクルとサイクルの間は13~34年の休止期があり、サイクル内での休止期の長さは10年以下で、しだいに噴火間隔が短くなるとした。このサイクルは地下深部のマグマ供給系と関連していることを指摘したが、具体的なモデルは示していない。この研究ではマヨン火山での中規模以上の噴火に限定しており、噴火サイクルの中、あるいはサイクルとサイクルの間での、地下のマグマ系と小規模噴火との関連を考慮に入れていない点で不満は残る。しかしながら、マヨン火山での規則的な噴火を、その規模とともにまとめた点で意義深いものであろう。同様の研究はCatane(1987)でも述べられており、1984年以降、次の噴火は1990年以前に起こる可能性が高く、その規模は $4\sim8 \times 10^7 \text{ m}^3$ 程度であろうと予測されていた。

これまでの噴火をまとめた上記の研究からは次の重要な結論が導かれる。

- (1) 数年から10数年の間隔で噴火が起こりうる。
- (2) 噴火の規模は10⁷～10⁸m³以下の噴出物を放出する程度である。

4) 噴出物の流下方向

ここでは歴史時代のマヨン火山の噴出物の流下方向に規則性があるか、もしあるならばそれは何によって規定されているかを議論する。

マヨン火山の主要な火山噴出物のうち降灰は風向きに支配される。火砕流はマヨン火山では、スフルエール型（火口からの爆発的あふれだし（boiling-over））とメラピ型（急傾斜地の溶岩流の崩落）の2つが認められている。このうちメラピ型は溶岩流の流下方向に発生するので、溶岩流の流下方向、すなわち火口壁の最も低くなっている方向が、その被災方向となる。スフルエール型は、火口が存在すると360度ありとあらゆる方向に火砕流が流下する可能性があるが、仮りに火口壁に著しい欠落があれば、火砕流は選択的にその方向へ流下するであろう。すなわちマヨン火山の火砕流および溶岩流の流下方向は火口壁の形状に大きく支配されることになる。

表-14はRamos-Villarta(1985)の記載もとに、火口壁の崩壊の記載の有無と、火砕流と溶岩流の流下方向とに注目してまとめたものである。これによると、17世紀以来、噴火にともない火口壁の一部が破壊され、そのためにその後の噴火の際の噴出物の流下方向が規定された事実が明らかになる。

表-9. Ramos-Villartaほか(1985)によるマヨン火山噴火史

DATE START		DATE END		PRECURSORY SIGNS			TYPE OF ACTIVITY			ASSOCIATED PHENOMENA			PLACES AFFECTED	REMARKS			
YEAR	MO	DY	YEAR	MO	DY	Q	R	G	S	AF	TF	PF			LF	RS	VL
1616	2	19	1616	2	23					x	x	x	x				Earliest recorded eruption Crater glow for 4 months
1766	7	20	1766	7	25					x	x	x					Destructive L due to heavy typhoon rains - Oct. 23-24 30 deaths - Malinao 19 deaths - Albay
1800	10	30	1800	10	31					x	x						Multiple pyro-eruptions
1811	10	5	1811	10	6	x				x	x	?					Forceful ejection of a column of ash & rocks "Big river of fire"
1814	2	1	1814	2	1	x				x	x	x					Most violent & destructive eruption Powerful ejection of ash & lapilli Major PFs Crater reduced = 40 m. Major L generated

* Libog was renamed Sto. Domingo on August 4, 1959 by R.A. No. 2520.

Precursory Sign

- Q - Quake
- R - Rumble
- G - Glow
- S - Smoke

Type of Activity

- AF - Ash Fall
- TF - Tephra Fall
- PF - Pyroclastic Flow
- LF - Lava Flow

Associated Phenomena

- L - Lahar
- RS - Rumbling Sounds
- VL - Volcanic Lightning
- EQ - Earthquakes

Type of Eruption

- PLIN - Plinian
- VULC - Vulcanian
- STRM - Strombolian

表-9. 続表

DATE START		DATE END		PRELIMINARY SIGNS			TYPE OF ACTIVITY			ASSOCIATED PHENOMENA			PLACES AFFECTED	REMARKS				
YEAR	MO	DY	YEAR	MO	DY	Q	R	G	S	AF	TF	PF			LF	L	RS	VL
1827	6		1828	2			x	x		x	x	x		x	x			
1834			1835	5(?)			x	x		x	x	x						
1839			1839															
1845	1	21	1845	1	21		x			x	x	x		x				
1846	5	11	1846	5	11					x								
1851	5	26	1851	6						x	x	x						
1853	7	13	1853	8	26		x			x	x	x						
1855	3	22								x								
1857										x								
1858	1		1858	12						x	x	x						
1861																		
1862																		
1868	12	17								x	x	x		x	x			
1871	12	8	1872	1			x			x	x	x						

DATE START		DATE END		PRECUR-SORY SIGNS			TYPE OF ACTIVITY			ASSOCIATED PHENOMENA			PLACES AFFECTED	REMARKS				
YEAR	MO	DY	YEAR	MO	DY	Q	R	G	S	AF	TF	PF			LF	L	RS	VL
1896	8	31	1896	9	27													
1897	6	4	1897	7	23	x	x	x	x									
1900	3	1	1900	3	6	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
1902																		
1928	1(?)		1928	8		x				x								
	3																	

1. マヨン火山の噴火のタイプ (Ramos et al. 1955 and PHILVOLCS 1990)

噴火形式	事例数	割合 (%)
プリニー式	1	3.9
ブルカニアン式	20	76.9
ストロンボリ式	5	19.2
総数	26	100.0

2. 降灰、火砕流および溶岩流が噴火の最初および全噴火中に発生する割合
(Ramos et al., 1955 and PHILVOLCS. 1990)

噴出形態	最初の噴火で発生	全噴火中で発生
降灰	16 (84.2)	21 (100.0)
火砕流	6 (31.6)	19 (91.5)
溶岩流	2 (10.5)	13 (61.9)
総数	19	21

表-10. マヨン火山の噴火のタイプと噴火形態別の発生頻度

1. マヨン火山の歴史時代の噴火前兆現象

(Ramos et al., 1955 and PHILVOLCS. 1990)

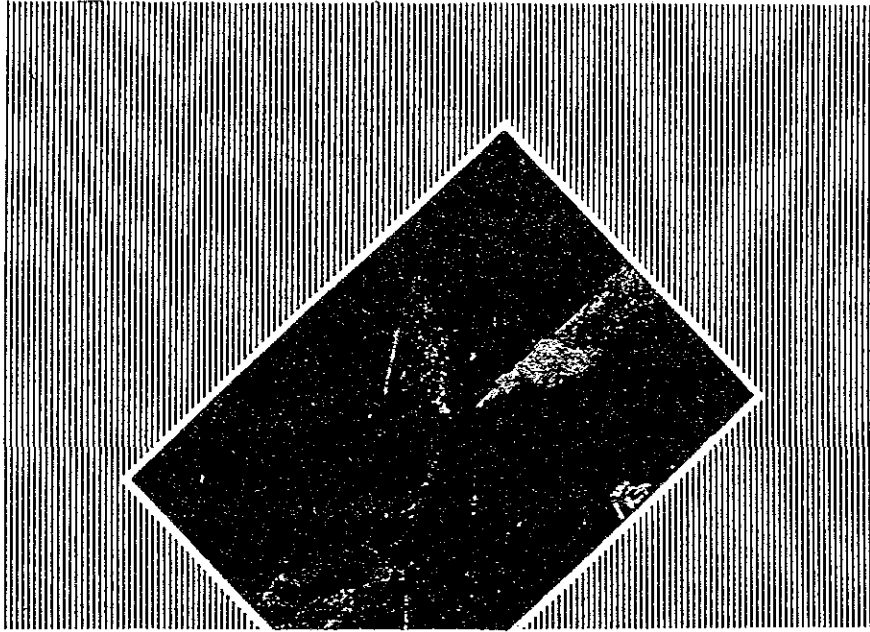
前兆現象項目	事例数	割合 (%)
地震	9	36.0
鳴動	14	56.0
火口赤熱	16	64.0
噴煙	10	40.0
4前兆全て	3	12.0
どれか一つ	25	100.0

2. マヨン火山の噴火で期待される噴火前兆現象

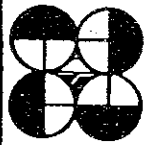
(Operation Mayon, PHILVOLCS, 1990)

- (1) 地震活動度の高まり
- (2) 山体の膨張変動
- (3) 褐色噴気または灰混じりの灰色噴気活動
- (4) 高温化による噴気量の変化
- (5) マグマの存在を示す火口赤熱現象の強まり
- (6) 鳴動等の地下からの音響
- (7) マグマの上昇圧にともなう火口のひび割れ、落石及び地滑り
- (8) 動物の異常行動

表-11. マヨン火山の噴火前兆現象



Operation
MAYON



Department of Science and Technology
PHILIPPINE INSTITUTE OF VOLCANOLOGY
AND SEISMOLOGY
1990

☒-12. Operation Mayon

1776年の噴火では火砕流は東方向に流下した記録が残っているが、1814年の噴火では『激しい爆発のため山頂火口は、40m低くなり、南側に開いた形状となった』とある。また1827年の噴火では『火口の南西側が破壊され、開口したとある』ともある。このため、この2回の噴火を含め1853年は南西方向、1871年は南～南東方向、1881～1882年噴火では南～南西方向と火砕流あるいは溶岩流が流下している。1892年の噴火でも『火口縁が大きく欠け落ち』という記録があるがその方向はあきらかではない。1897年の噴火では大量の火砕流が東方向に流下した。この時期に『山頂では東側に火口壁の欠落が生じ、その後1947年まで、噴出物がセントドミンゴ（東方向）方向へ向かい易い状況が持続した』とある。このため1928年、1938年および1947年の噴火では北～北東方向へ噴出物が流下している。

1968年の噴火では1947年までの活動と異なり、火砕流および溶岩流は南側に流下した。確実な火口壁の崩壊の記録はないが、『山頂部での斜面崩壊の現象が発生した』や、『山頂付近の小割れ目からの溶岩噴出』との記述がある。これは火口壁の形状の変化を示しているかも知れない。その後、1978年の活動では、溶岩流は南側に流下し、先端部の崩落により火砕流が発生した。1978年の噴火終了後、1982年に撮影された空中写真によれば、山頂火口は南西側が開口している。1984年の噴火はphase1～3までの3つに分けられているが、phase2までは主として南西方向に火砕流と溶岩流が流下している。しかしphase3では火口壁の南東側が破壊され、Bonga gullyができ、火砕流は南東斜面を流下した。1993年の噴火では破壊された火口の南東部から、火砕流および溶岩流が流下している。

以上のように、これらの過去の噴出物の流下方向は火口壁の形状に支配されていること、さらにその形状は18世紀から現在までに数回の大きな変化があったことがわかる。このことは現在の山頂付近の地形にも反映されている。図-13は空中写真で判読した1982年当時の山頂付近の地形である。現在の山頂部にはガリーが発達しているが、顕著なものは東～北東部、南～南西部、そして南東部のボンガガリーの源頭部である。これらは噴火時の、溶岩流および火砕流の選択的流下による浸食によって生じた可能性が強い。このうち南～南西部は1814年噴火以降、および1968年～1984年の活動によって、北東部は1987年以降の活動によると考えられる。

表-12. マヨン火山の主な噴火一覧 (Punongbayan, 1985)

YEAR	INTERVAL	VOLUME ESTIMATE VERSUS PHASE 1, 1984 ERUPTION	EJECTA
1616	150	Same	AF*PF*LF
1766	34	2x	AF*PF*LF
1800	13.3	Same	AF+PF?
1814	20	8x	AF
1834/35	9.5	2x	PF-AF
1845/46	7	2x	AF+PF-AF
1853	4.3	3x	AF+PF-PF+AF-AF
1858	13	2x	AF-LF+PF
1871/72	9.5	Same	AF+PF
1881/82	4	2x	AF-LF-PF-AF- LF-AF-LF
1886/87	4.9	2x	LF+AF-AF+PF
1892	5.3	Same	AF-PF
1897	2.7	8x	PF-AF
1900	28	4x	AF-LF+PF-AF
1928	10	7.5x	AF-PF-LF+PF
1938	9	2x	AF-PF-LF
1947	21	3x	AF-LF+PF-AF
1968	10	2x	AF-PF-LF
1978	6.2	Same	LF-AF+LF-LF
1984		3.5x	LF+AF-AF+PF-PF-AF

Notes:

1. Estimated volume of the 1984 Mayon eruption Phase 1 ejecta is 20 million cubic meters.
2. Ashfall, airfall and pyroclastic flow deposits were considered while estimating the volume of ejecta from each major eruption relative to that of Phase 1 ejecta.
3. PF = pyroclastic flow; LF = lava flow; AF = airfall
 AF*PF*LF = sequence not known
 AF-PF-LF = sequence known with AF as first activity
 AF + PF = contemporaneous AF and PF activities

表-13. 噴出量・噴火間隔に着目したマヨン火山の噴火サイクル (Punongbayan, 1985)

年	間隔	周期	1984年爆発時と 比較した噴出量	周期毎の 噴出量比	() 小計値 [] 予測値
1616			1		
1766	150		2		
1800	34		1		
1814	13.3	47	8	9	
1834/35	20		2		
1845/46	9.5		2		
1853	7		3		
1858	4.3	41	2	9	
1871/72	13		1		
1881/82	9.5		2		
1886/87	4		2		
1892	4.9		1		
1897	5.3		8		
1900	2.7	42	4	18	
1928	28		7.5		
1938	10		2		
1947		47	3	12.5	
1968	21		2		
1978	10		1		
1984	6.2	(37)	3.5	(6.5)	
[1987/89]	3 to 5		[2.5 to 3.5]	[p to 10]	

次になぜ火口の形状が変化するかについて考察する。一度火口の変化が変化し、例えば一方向に開口した場合を考える。(1) 噴火休止期が長く、噴火規模は変化しない場合：この場合、浸食作用により、より火口の開口部はより深くあるいは拡大するであろう。そして休止期の後の噴火でも火口開口方向に噴出物は流下するであろう。(2) 噴火休止期が短く、噴火規模は変化しない場合：この場合はマヨン火山にあてはまると考えられる。火口開口部の浸食作用の進むよりも、次の噴火により火口開口部から溶岩流および火砕流が流下するため、開口部は新しい噴出物で埋められる。一方、開口部以外は噴火に伴う地殻変動(隆起)により、もろくなる。むしろこれは火口開口部でも同様であるが、新しい噴出物に覆われることが少ないだけ、より脆くなる。そして開口部での固い噴出物の堆積、それ以外の場所での脆弱化が進む。その結果、次の噴火をきっかけに火口壁の別のところが崩壊し、火砕流および溶岩流が流下しはじめ、新たな火口開口部が形成される。(3) 噴火規模が小さくなる場合：噴火規模が小さい場合には、火口周辺に降下火砕物が堆積し、新たな火口壁が形成され、結果として開口部は消滅する。(4) 噴火の規模が大きくなる：山頂部の開口部は拡大するか、新たな火口壁の崩壊が起こる。

マヨン火山の場合は、噴火の最大規模には大きな変化はないので、特に上記の(2)のプロセスで火口壁の形状は変化しているのであろう。

2-2-4. マヨン火山のマグマの性質

マグマの性質は噴火のタイプを支配するひとつの要因になる。また火山岩を解析することから、地下深部のマグマ系(マグマ溜まりの数、深さなど)を明らかにできれば、火山噴火の中～長期的予測の重要な情報となりうる。

マヨン火山の岩石学的研究についてはわずかにNewhall(1977, 1979)の研究があるのみであるが、重大なことが明らかになっている。Newhall (1979)は多数の全岩主成分化学組成と鉱物組成を求めた。それによると、マヨン火山の噴出物は $\text{SiO}_2=53 - 56\%$ の極めて狭い範囲に入る。さらにそれらの化学組成の時間変化を調べ、噴出物の化学組成にはサイクルが認められ、時折 SiO_2 に乏しいマグマを放出し、それに続く噴火では次第に SiO_2 に富むようになる。このことからNewhall(1979)は、マヨン火山直下の地下のマグマ系について次のようなモデルを提唱した。火山体直下には、ゆるやかに冷却し、結晶を晶出させることで組成を変化させているマグマ溜まりが存在し、その中により SiO_2 に乏しい高温のマグマが注入されるというものである。この高温のマグマの注入は最近では1814年および1881年の前に起こり、サイクルとして100年程度であると主張した。この指摘によれば、例えば歴史時代最大の噴火である1814年の活動は、高温のマグマの注入が引き金になったとも言える。このことは、地下のマグマ系の変化と噴火様式の関連を考えるうえで、大変興味深い事実である。今後、最新の機器分析と詳細な野外調査を組み合わせた研究の進展が望まれる。

2-2-5. マヨン火山の地形形成過程について

既に述べたように地形的にはマヨン火山ではBicol地域の火山のなかでは、若い現在成長中の火山である。その成長率は噴出率と等しく $0.14\text{m}^3/\text{秒}$ である (Catane, 1987)。2章で述べたように、マヨン火山山体は典型的成層火山であり、山体を構成する火山噴出物の種類は、その物性を反映している。すなわち急斜面で特徴づけられる山頂周辺は、溶岩片が2次的に固結したもの (アグルーチネイト) からなり、斜面安定角以上で安定している。このような急斜面では通常の降下火砕物 (2次的に固結していない) や溶岩流および火砕流は安定に堆積することができず、浸食により下流へ流下する。

火砕流と溶岩流を比較すると、降伏強度は溶岩流の方が大きく、そのため溶岩流は、火砕流と比べて、傾斜が急でも堆積することができる。そのため山体中腹では、溶岩流が卓越し、山麓で火砕流が卓越する。溶岩流でも噴出量が大きく、かつ噴出率が高い場合は、山麓部で大きく広がることもある (たとえば、富士山の青木ヶ原を作る溶岩流)。しかしながら、マヨン火山では1回の活動時期の噴出物量が一定で、かつ規模が大きくないため山麓で広く広がることはない。これらの噴出物のうち、固結の程度の弱い火砕流や火山灰は降雨によってラハールとなり下流へ流れる。ラハールのような固液混相流は降伏強度が小さく、そのためより低角度の斜面で堆積し、火山体の山麓部を広く覆うことになる (写真-11,12)。

とくに火山麓のラハールで主として構成される緩傾斜面は火山麓扇状地と呼ばれ、火山活動以外の、火山体の浸食作用によって作られると考えられていた。しかし近年では、火山麓扇状地は、火山活動が活発な時期に、そのほとんどが形成されることが明らかになってきた。これはマヨン火山での、18世紀以降の記録からも裏付けられる。

マヨン火山でのラハールは、噴火と同時期あるいは1年以内に発生していることがほとんどで、噴火終了から1年以上たってから大規模なラハールが発生した例は、1875年、1915年、1930年と1981年の4例である。18世紀以降、40回以上の噴火では、それぞれで複数回のラハールが発生していることを考慮すると、活動静穏期のラハールの発生は稀であると結論できる。

一方、山体には山頂部まで続く大きなガリーが形成されている。特に、顕著なガリーは山体北東部、南部、北西部、そして1984年に形成された南東部のボンガガリーである。これらは、浸食作用によって山麓部に大量の物質を供給した場所とも考えられるが、これらのガリーのうち、北西部を除いては、18世紀以降の活動により、繰り返し流下する火砕流によって形成されたと考えられることは既に述べた。

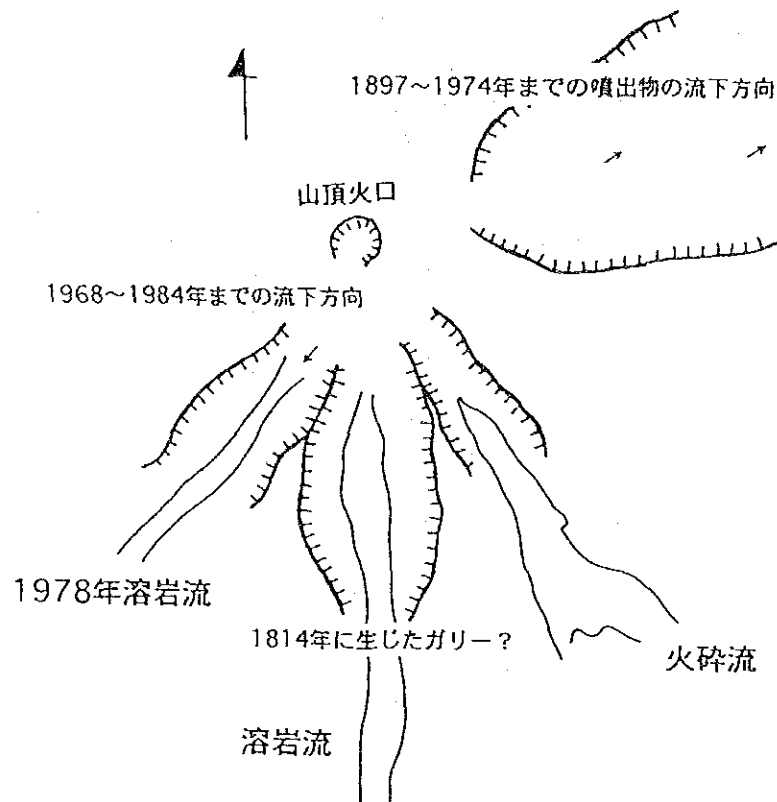
以上のことから、マヨン火山は広大な山麓地を含めて、現在、成長中であり、その原動力および物質供給源は火山活動によると考えられる。

年 代	噴出量 (10 ⁷ m ³)	噴出物	流下方向	火口形状の変化等
1616	2	AF+PF+LF	?	
1766	4	AF+PF+LF	E	
1800	2	AF+PF?	?	
1814	16	AF		南側に開いた形状になった
1827	小噴火	AF?		火口の南西側が破壊・開口
1834-35	4	PF+AF	?	
1845-36	4	AF+PF	?	
1853	6	AF+PF	SE	
1858	4	AF+PF+LF	?	
1871-72	2	AF+PF	S-SE	
1881-82	4	AF+PF+LF	S-SW	
1886-87	4	AF+PF+LF	E?	
1892	2	AF+PF	E-SE	火口縁が大きく欠け落ちた
1897	16	AF+PF	E	東側に火口壁の欠落
1900	8	AF+PF+LF	E?	
1928	15	AF+PF+LF	E-NE	
1938	4	AF+PF+LF	E	
1947	6	AF+PF+LF	E,S	
1968	4	AF+PF+LF	S	山頂部の斜面崩壊
1978	2	AF+PF	SW	
1984	7.5	AF+PF+LF	SW,SE	火口南東壁破壊
1993	3	AF+PF+LF	SE	

AF:降下火砕物, PF:火砕流, LF:溶岩流

表-14. マヨン火山の噴出物の主な流下方向と山頂部の地形変化

図-13. 1982年当時の山頂火口付近の地形（現在はボンガ・ガリーが拡大している）



2-2-6. 火山活動のモニタリング

1) 現状

火山活動のモニタリングの現状については岡田ほか(1993)が詳しい。これによると、マヨン火山はフィリピン地震火山研究所 (Philippine Institute of Volcanology and Seismology: PHIVOLCS) によって観測網が作られている (図-14)。

火山体を取り囲むように、Mayon Rest House (MRH)、Santa Misericordia (SMC) およびLignon Hill (LNH) の3観測所を配置していた。それぞれの観測所では現地職員による遠望観測および地震観測を行っている。このうちLNHにはマニラのPHIVOLCSより派遣された研究員が交代で常駐する体制をとっていた。

地震観測網は、上記の3観測所と山体南側の観測点の4点で構成される。このうち山体南側の観測点は1993年の噴火開始直後に設けられたものである。MRHには固有周期1秒の地震計3成分が、他の観測点には固有周期1秒の上下動地震計が設置されている。LNHを除く3観測点の上下動成分は無線によりLNHまでテレメーターされ、可搬型ドラムレコーダーで記録されている。MRHでの上下動以外の成分の地震記録は、現地記録が行われている (写真-13)。

地殻変動観測については、北西山麓（BUA）およびMRHに2軸型傾斜計を設置し、無線テレメーターを用いてLNHまで電送し、パーソナルコンピューターを使用した収録装置により連続観測が1993年に開始された。

1993年噴火を契機に、LNHでは爆発などによって生ずる空気振動を観測する目的で、低周波マイクロフォンが設置された。同時に、Baringer相関スペクトルメーターによる2酸化硫黄放出量の遠隔測定が随時行われている。

このマヨン火山の観測網は、1991年の噴火を契機にUSGS（米国地質調査所）の協力により観測網が充実したピナツボ火山を除いて、フィリピンでは最も高密度のものである。

2) 問題点

PHIVOLCSでは将来の噴火を予測して、乏しい予算内で観測網を構築していったが、1993年の噴火（写真-15,16,17）の前兆現象をとらえることができなかった。この原因を検討することが観測体制の問題点を探ることになる。1993年の噴火前の観測網による観測結果を解析した結果、岡田ほか(1993)は前兆現象は認められなかったと結論した。

前兆現象として普遍的で、かつ観測が比較的容易な地震観測網は、設置されていた地震計が旧式であったことが最大の問題点である。たとえば火口に近く、重要な観測所であるMRHの地震計は日本製の保坂式地震計である（写真-14）。この地震計は1960年代に製造されたもので、日本では80年代以前に廃棄されていることが多い。このような旧式の地震計が維持され稼働していることは、PHIVOLCSの職員の技術の優秀さを示していることになるが、微小な前兆地震を見逃した可能性は否定できない。

さらに震源を決定するには、複数の観測点での3成分の地震動の観測は必要であるが、MRHをのぞいて上下成分のみ観測がおこなわれており、震源を正確に決定することができない。したがって現在の観測網では、前兆現象として、地震の数の増加や規模の増大だけをモニターしていることになる。仮に震源決定ができれば、震源の火口浅部への移動などの現象も前兆として認識できたはずである。

微小地震を観測し、さらにその震源を決定するには、観測点を増やし、地震計をより火山体に近づける必要がある。今回の噴火直前までは3ヶ所の観測点での地震観測が行われていたが、微小な前兆地震をとらえるには不十分であった。そのため、噴火直後から観測点を増やすなどの対応がとられた。



写真 11
1993年ラハール堆積面
(崖は時代不明のラハール)



写真 12
時代不明のラハール堆積物

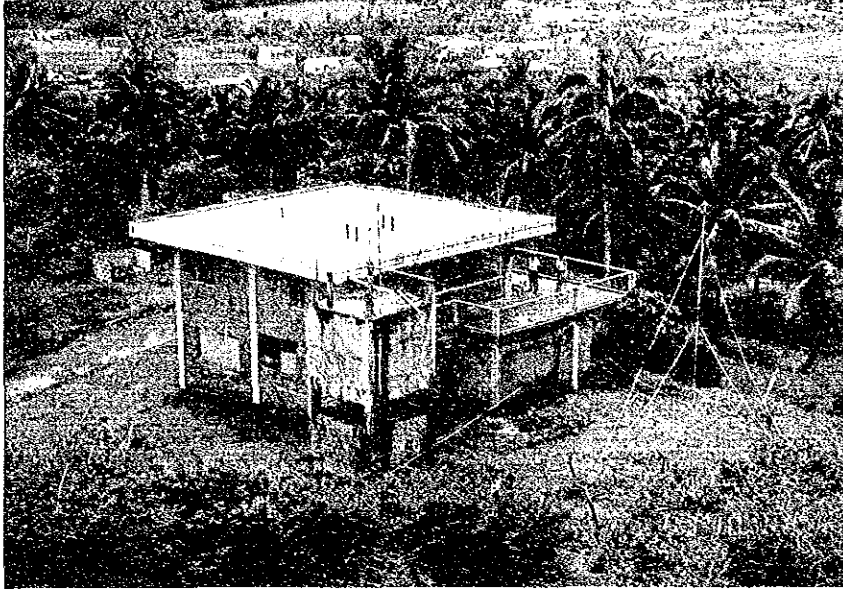


写真 13
PHIVOLCSのLighon Hill 観測所

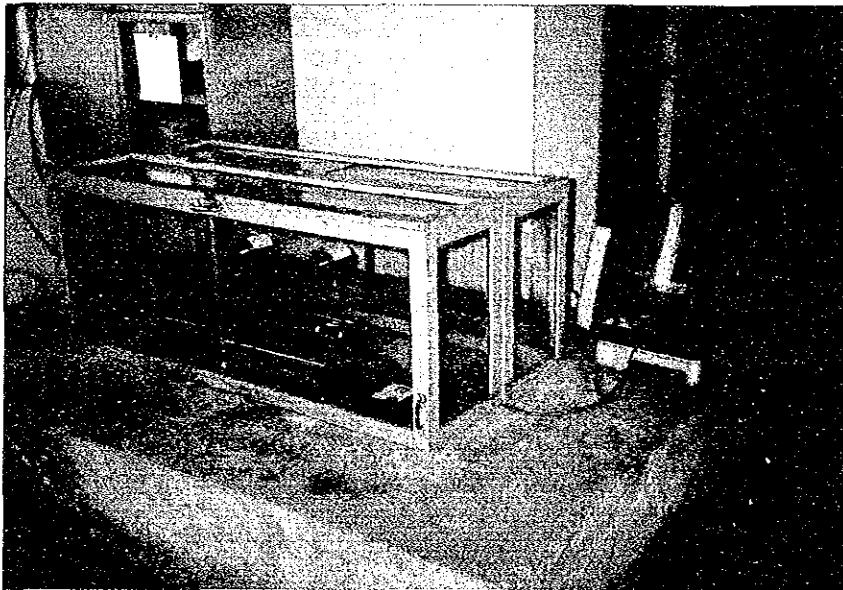


写真 14
マヨンレストハウス観測所の
保坂式地震計





写真 15
1993年噴出物全貌

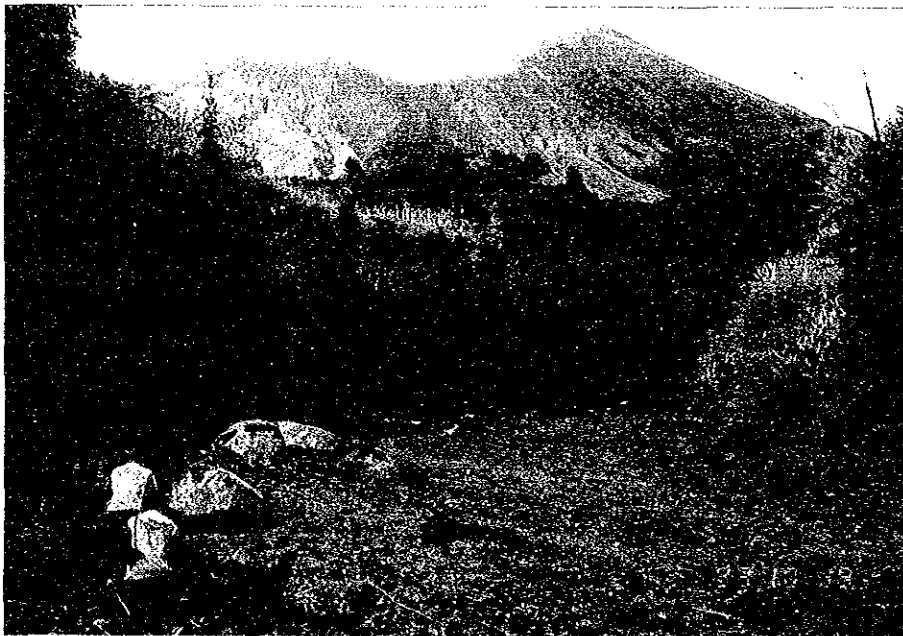


写真 16
1993年溶岩流先端部