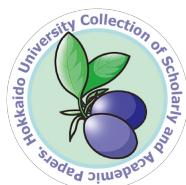




HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ニュージーランド北島ルアペフ火山の火山湖決壊によって発生したラハール
Author(s)	Manville, Vern; Graham, Leonard; Noel, Trustrum et al.
Citation	砂防学会誌, 60(2), 59-65 https://doi.org/10.11475/sabo1973.60.2_59
Issue Date	2007-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/67999
Type	journal article
File Information	60_59.pdf



災害報告

ニュージーランド北島ルアペフ火山の火口湖決壊によって発生したラハール^{注)}

Ruapehu Crater Lake break-out lahar, North Island, New Zealand

丸谷 知己^{*1}

Tomomi Marutani

Vern Manville^{*4}山田 孝^{*1}

Takashi Yamada

Graham Leonard^{*4}木村 正信^{*2}

Masanobu Kimura

Noel Trustrum^{*4}眞板 秀二^{*3}

Hideji Maita

Abstract

On 18 March 2007 the summit Crater Lake of Mt. Ruapehu, New Zealand, breached a barrier of tephra emplaced by eruptions in 1995-96, resulting in the rapid release of 1.3 million m³ of water. The flood rapidly bulked by entraining snow, ice, rock debris and alluvium along the steep gorge of the upper Whangaehu River to form a debris flow that then transformed downstream into a hyper-concentrated and then sediment-laden stream flow during its passage to the Tasman Sea 155 km away. No lives were lost and infrastructural damage was minimal due to a comprehensive warning system developed in the decade before the lahar. A previous break-out lahar in 1953 caused a railway disaster at Tangiwai with the loss of 151 lives. The lahar flowed as a multi-peaked debris flow in the Whangaehu gorge, 7 km downstream of Crater Lake. Automatic lahar measuring equipment, including water level gauges, flow velocity sensors, conductivity samplers and seismographs were installed at key sites along the flow path, and were supplemented by sequential photographs captured by automatic monitoring cameras and observer teams. Flow velocity averaged 30 km/hr and water level rose by 8.2 m in 4 minutes in the gorge. The lahar caused riverbed aggradation in many places and environmental disturbance to the channel regime.

Key words : lahar (volcanic mudflow), Crater Lake break-out, hyper-concentrated flow, automatic lahar measuring equipment, automatic monitoring camera

1. はじめに

ニュージーランド北島のルアペフ (Mt. Ruapehu) 火山 (図-1) では, 2007 年 3 月 18 日午前 11 時 (日本時間午前 8 時) に火口湖が決壊し, ラハールが発生した。

ラハールは, 火口湖からルアペフ火山の東斜面を流下し, ワンガエフ川 (Whangaehu River) に流れ込み, 約 155 km 下流のタスマニア海 (Tasman Sea) まで流出した。ルアペフ火山では, 近年では火口湖の決壊によるラハール (1953 年) と噴火活動に伴う融雪ラハール (1995 年) が発生している (Manville, 2004) (Stilwell *et al.*, 1954)。今回のラハールは, 1953 年と同様の火口湖決壊型であったが, 数年前から各種観測機械を設置したことにより, ほぼ正確にその発生を予測できた。

また, 十分な警戒避難体制がとられたため, 1953 年ラハールの 1.25 倍の流量であったにもかかわらず, 死傷者はなかった。

ルアペフ火山の最高点は標高 2,797 m (Tahurangi 峰) で, 面積約 795.98 km² のトンガリロ (Tongariro) 国立公園の中に位置している (図-2)。頂上には, 直径約 2.5 km の火口湖を有する (口絵写真-4)。国立公園の中には,

北から南にトンガリロ, ナルホエ (Ngaruho), ルアペフと 3 つの活火山が並んでおり, ルアペフ火山では 1945 年以来小規模なものも含め 17 回以上の噴火と少なくとも

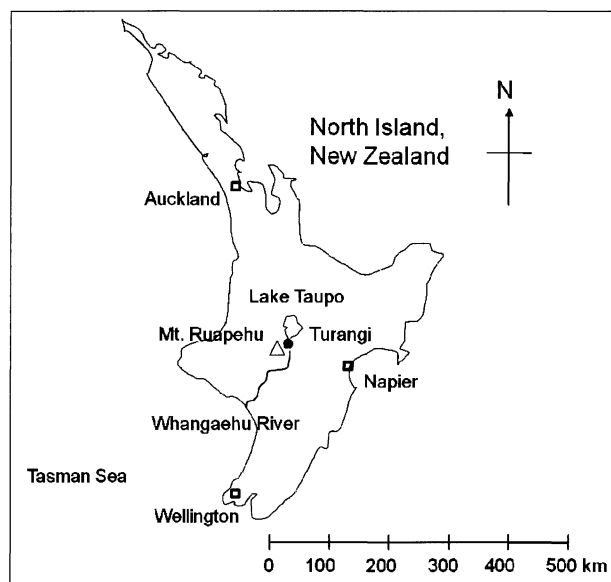


図-1 ルアペフ火山とワンガエフ川位置図

*1 正会員 北海道大学大学院農学研究院 Member, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University; Corresponding author, (marut@for.agr.hokudai.ac.jp) *2 正会員 岐阜大学応用生物科学部 Member, Faculty of Applied Biological Science, Gifu University *3 正会員 筑波大学生命環境科学研究科 Member, Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba *4 Institute of Geological and Nuclear Sciences, New Zealand

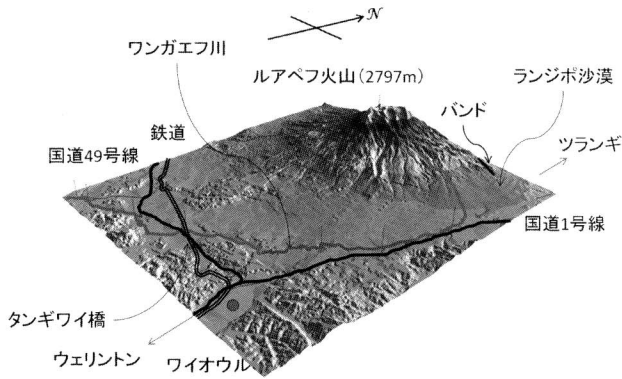


図-2 ルアペフ火山鳥瞰図

も 60 回のラハールが発生している。

また、トンガリロ国立公園は 1990 年に世界で 4 番目に世界自然遺産に認定された有名な観光地であるため、スキー客や登山者のほかにも、世界各地からの観光客が一年を通じて滞在している。火山山麓は、冬季の厳しい寒さと強風のため貧弱な植生しか認められず、独特の景観を示すランジボ沙漠 (Rangipo Desert) と呼ばれている (写真-1)。

なお、本観測はニュージーランド地質核研究所 (GNS; Institute of Geological and Nuclear Sciences), メッシー大学 (Massey University) 地理学教室, ニュージーランド環境省 (DOC; Department of Conservation), ホライゾン (Horizons Regional Council) および北海道大学大学院農学研究院 (流域砂防研究室) の国際共同研究で行われた。

2. これまでのラハール災害

1953 年のクリスマスイブに発生したラハールは、ネイピア地震 (1931 年) と並んでニュージーランド史上最悪の自然災害である。走行中の列車が鉄橋とともにラハールに巻き込まれたことから、タンギワイ鉄道災害 (Tangiwai Rail Disaster) と呼ばれている (Hicks and Campbell, 1998)。

当時は、現在のような警戒避難対策が確立されていなかった。そのため、ルアペフ山頂の火口湖から 39 km 下流のタンギワイ鉄橋にラハールが到達するまで全く予警報はなく、運悪く通りかかったウェリントンーオークランド間の夜行列車 (乗客 285 名) が、一瞬のうちに流れに巻き込まれて 151 名の死者行方不明者を出した (写真-2)。

また、1995 年に発生した火山噴火に伴うラハールは、融雪型で規模も小さく、主にルアペフ火山西側斜面を流下した。噴火による火山灰は火山の東側に広範囲に堆積したが、大規模な被害はなかった。一方、噴火に伴う融雪型ラハールは火山の西側斜面に広がるロッジとスキー場に達し、リフトやロッジの一部を損壊した。しかし、スキー場の避難警報システムが作動したため、滞在者は避難し、死傷者はなかった。

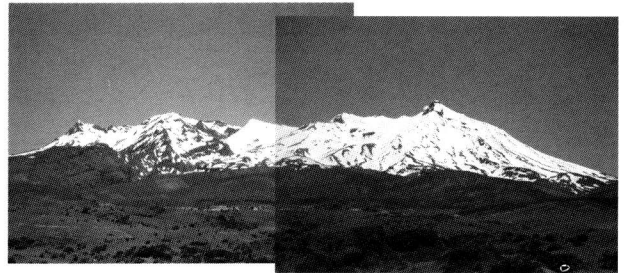


写真-1 東側から見たルアペフ火山と山麓に広がるランジボ沙漠 (写真手前)



(Copyright: New Zealand Herald)



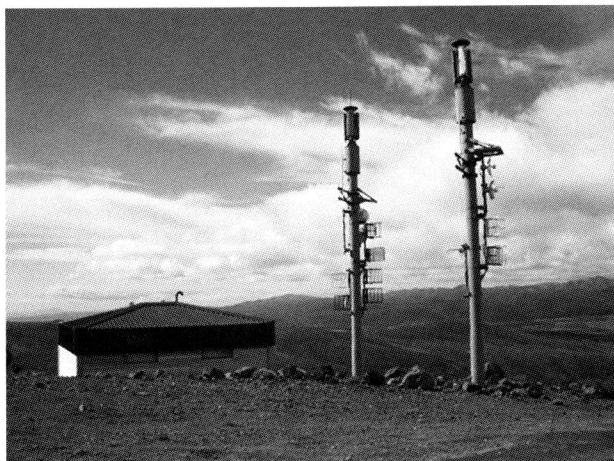
(Copyright: New Zealand Herald)

写真-2 1953 年 12 月 24 日のラハール氾濫域 (上) とそれによって発生したタンギワイ鉄道災害 (下)

3. ルアペフ火山地域の災害対策

現在、1953 年の災害現場は公園となって記念碑が建ち、災害直後の写真が展示されている。また、鉄道およびこれと平行して走る国道 49 号線の安全確保のために、警戒システムが設置されている。

これは、ルアペフ火山の火口湖の水位センサーと火口壁における震動センサーで火口湖の状況を観測し、さら



(Photo taken by T. Marutani)



(Photo presented by Robert Milne, Ruapehu Bulletin. The police officer's name is Michael Quinn.)

写真-3 ルアペフ火口からの観測データ転送用テレメーター（標高 1425 m）（上）と国道 49 号線タンギワイ付近の交通自動遮断システム（3 月 18 日交通遮断時）（下）

に鉄橋および国道 49 号線の 10 km 上流に観測塔を建設して水位と流速を観測し、これらのデータをテレメーターで下流へ転送し、ラハールの到達時間を計算することにより、鉄道と国道を鉄製ゲートで自動的に遮断するシステムである（写真-3）。今回の火口湖決壊とラハールの動態は、このシステムにより完全に予測されたため、休日でも多くの旅行者が国道を往来していたにも関わらず被害者は皆無であった。

なお、ラハールの流下経路であるワンガエフ川上流には、左岸（北）側にバンド（Band）と呼ばれる長さ 200 m のロックフィル式導流堤が一基建設されている（図-2）。これは、ラハールが北方向に流れを変えて、ツランギ（Turangi）の町に流れ込み、発電施設などのインフラを破壊することを避けるためである。また、火口湖決壊が予測されたにもかかわらず火口湖の排水工事等を行わなかった理由は、山頂などの自然物に人間は一切手を加えないという地元マオリ族の伝統的自然観を尊重したためである。

4. 観測システム

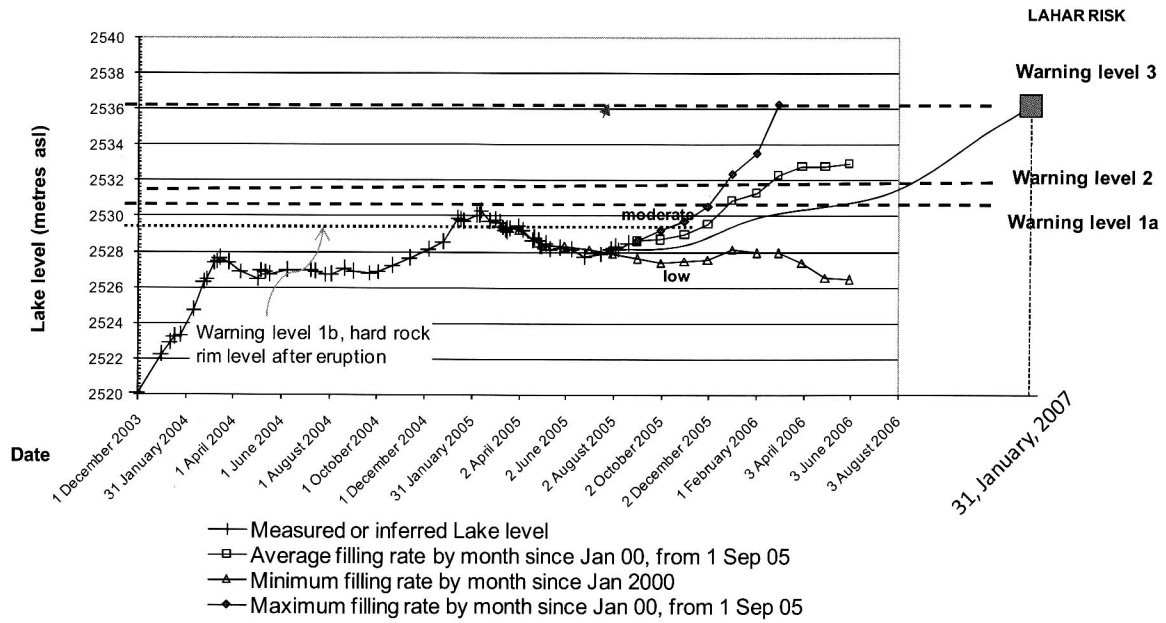
火山活動の観測は、GNS および DOC が設置した水位計、非触水型流速計、振動センサー、モニターカメラおよびこれらのデータを転送するテレメーターシステムによるほか、研究者が定期的に火口湖まで登頂して調査を行っていた。これらの調査観測結果は、GNS のインターネットシステムにより公開されており、Web カメラ画像や振動スペクトルはインターネットを通して常時見ることができた（<http://www.geonet.org.nz/volcano/volcams/ruapehu/index.html>）。

ルアペフの共同観測は、2005 年より開始された。GNS は、火口湖に観測カメラと非触水型水位計および振動センサーを増設した。メッシー大学およびホライゾンは、LiDER システムと呼ばれるレーザープロファイラーでのワンガエフ川全体の微地形観測を開始した。北海道大学は、山麓斜面と中流部におけるそれぞれ自動撮影カメラおよび水位計と自動採水装置を設置した。そのほか、地形測量、粒径調査、植生調査を行った。また、火山山麓のデザートにおける地表荒廃状況と自然植生の回復についても継続的な調査を行っている。

5. ラハール発生にいたる経過

1995 年の噴火活動により、火口湖の周囲には多量の火山灰が堆積し、火口壁が高まった。火口湖は、毎年の融雪と降雨により水位が上昇し、特に 1995 年の噴火以後は水位の上昇速度が速くなった。火口壁には硬い溶岩の上に火山灰が堆積しているため、水位が溶岩部分を越えて火山灰の部分に達すると、当然決壊の危険性は高くなる。GNS では、火口壁の地形と静水圧により決壊危険水位を予測した。決壊危険水位と実際の観測水位を図-3 に示した。

2003 年に小噴火があり、これ以後火口湖水位が急速に増加し始めた。しかし、水位は 2004 年 4 月～10 月にはいったん安定し、その後 2005 年 2 月まで急増した。さらに、2005 年 10 月まで再び安定した後に急増している。この周期的な水位の増減は、南半球の 4 月～10 月が秋季～冬季で、10 月～3 月が融雪期と雨期を含む春季～夏季となるためである。水位が推定平均値より緩やかに増加したのは、水位上昇途中に標高 2530 m 付近で、溶岩と火山灰の間から漏水があったためである。2007 年 3 月 18 日午前 10 時ごろから、DOC の設置した振動センサーが平常と異なる振動波を感知し、10 時 40 分ごろから警報が発令された。結局、GNS の火口湖モニターカメラの稼働と考え合わせれば、午前 11 時ごろから地下でのクレーターの決壊が始まったようである。ルアペフ山の火口湖から流出した流水量は 130 万 m^3 であった。



(Reproduced from the figure of H. Keys, Department of Conservation, NZ)

図-3 2003年12月1日～2007年3月18日までのルアペフ火口湖の水位変化

(◇：予想された最大水位，△：予想された最低水位，□：予想された平均水位，+：実観測水位)

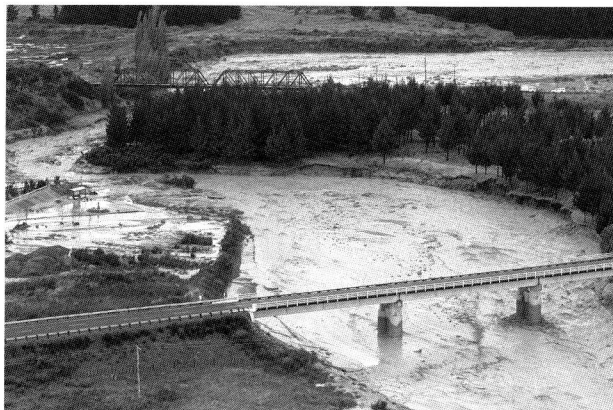


(Photo taken by G.Mackley)



写真-5 ラハールによってダメージを受けた河畔域

(上：ダグラスファーの造林地は、樹高の1/3までラハールによって枯れあがっている。下：ラハールの通過した狭窄部では、約8m程度まで木本は引きぬかれ、植物は壊滅した。)



(Photo presented by Robert Milne, Ruapehu Bulletin)

写真-4 ヘリコプターから撮影されたラハール

(上：タンギワイ鉄橋の下を通過するラハール先端，
下：国道49号線の下を通過するラハール)

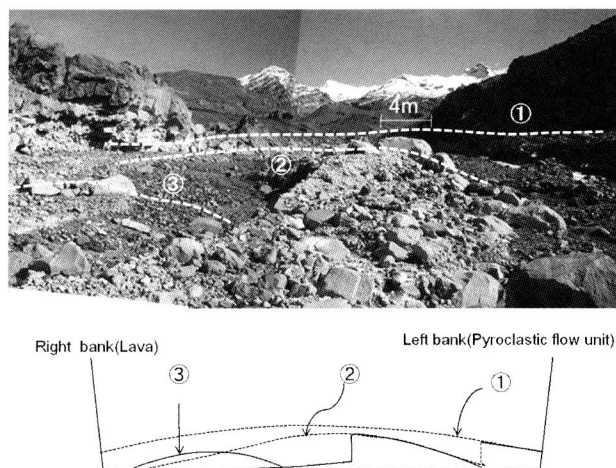
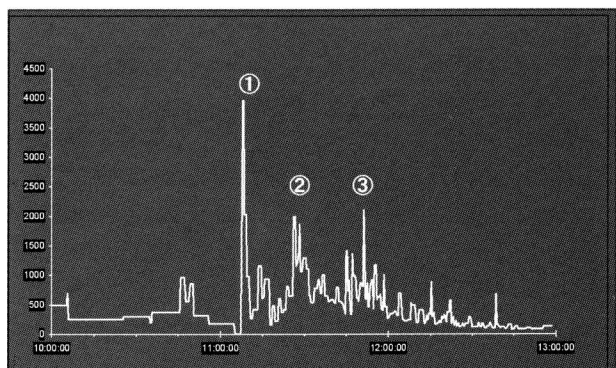


写真-6 ルアペフ周遊歩道から見た土石流による3種類のロープ堆積地形
(①が最も大規模で川幅全体を覆っていた。②は中規模で4mの巨大礫を含んでいる。③が最も小規模のロープを形成している。)



(Reproduced from Department of Conservation data)
図-4 火口湖直下における非触水型水位計によるハイドログラフ
(3回以上のピークが見られるが、大きな3回のピークによる堆積土砂が上のロープに対応するものと思われる。)

6. 警戒避難と被害

午前10時40分の警報はテレメーターで下流域に伝達され、国道1号、49号および鉄道交通を鉄製ゲートが自動的に遮断した。一方、警察はそれぞれの交通機関の遮断についてアナウンスすると同時に、ゲート付近での警戒態勢を取った。1953年に鉄道災害の発生したタンギワイ橋では、午後1時にラハールのピークが通過し、橋桁より2m下まで水位が迫った。その後、水位は徐々に減少し、午後4時から4時半の間に国道1号、49号、鉄道の順に開通した。その他に地方道、農道や橋はラハールに飲み込まれたものがあるが、人的被害はなかった。

また、山麓扇状地のの上流に建設されたロックフィル式導流堤(バンド)はラハールが北方向に偏流するのを防ぎ、ツランギの町とその河川環境を守るのに役立った。

火口湖は、発生以前からモニターカメラで撮影されて



写真-7 山麓の扇状地を流れるラハール
(写真は上流から下流に向かって撮影。大きな礫は見られず、泥流状の流れとなっている。)

いた。2007年3月18日午前11時の決壊の瞬間についても、カメラはその様子を明瞭に捕らえていた(口絵写真-5)。ラハールの流下過程は、すでに設置されていた、いくつかの定点カメラによって撮影された。また、ラハールの流れに沿ってヘリコプターからの動画も撮影された(写真-4)。このように今回のラハールは発生から終息にいたるまでの動態が完全に予想されており、監視体制も万全であったため人的被害にはいたらなかった。しかし、ワングエフ川では兩岸にラハールが溢れ、河畔の植生に大きなダメージを与えた。草本植物は、高濃度のラハールにより最大で兩岸8m以上の高さまで泥の下に埋没し、河岸の木本類の中には引き抜かれたものも少なくない(写真-5)。

ワングエフ川の河床には高さ2m以上の段丘が形成されている区間があり、ラハールが流下中に一時河床を埋積し、河床面を上昇させたことがわかった。

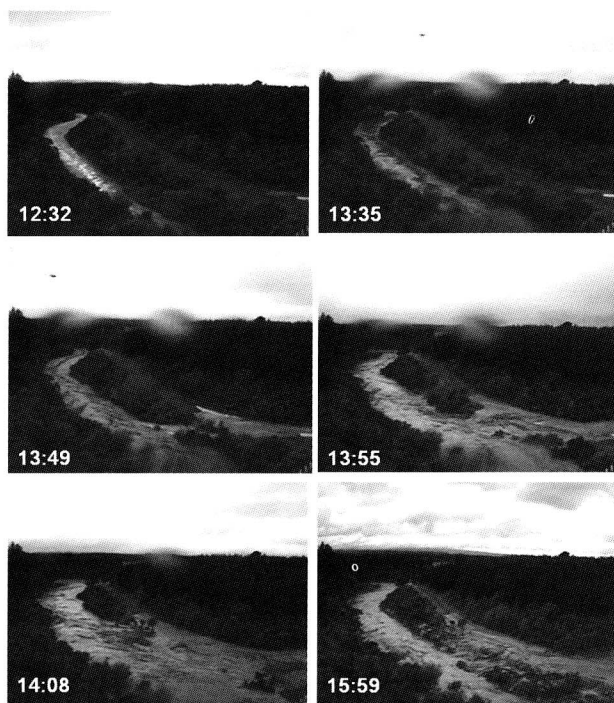
写真-5(上)に見られるように、ラハールの通過した造林地では、2m程度まで泥質の土砂をかぶり樹林が枯れあがっていた。さらに、写真-5(下)に見られるように、狭窄部ではラハールの通過した高さまで、植生が消失している。また、林内には一時河床が上がったため段丘が形成されていた。さらに、流水は時間経過に伴い徐々に濁度成分を減じているとはいえ、溶解した硫黄成分などのために今後数ヶ月から数年以上は淡水生物に大きな影響を与えることが、環境省やホライゾンにより予測されている。

7. 観測成果

ラハールは発生源から下流7kmの地点でルアペフ周遊歩道と交差する。この地点では河床に3種類のロープ地形が形成されていた。これらは集合運搬(土石流)によるもので、最大4mに達する礫も分布する(写真-6)。これより下流側には、溶岩からなる狭窄部があり、そこ



写真-8 ラハール観測のためにストラッチャンズ橋付近に設置された自動撮影スチールカメラ
(遠景はルアペフ火山、手前の川がワングエフ川)



(Photo taken by Hokkaido University still-camera)

写真-9 自動撮影スチールカメラが捕らえたラハール通過の瞬間
(1分毎に撮影した画像のうちの数枚【12:32】【13:35】【13:49】【13:55】【14:08】【15:59】はそれぞれニュージーランド時間での撮影時刻を示す)

を通過したラハールは泥流となって山麓の扇状地に流下した。

図-4は、決壊した火口湖の下流において非触水型水位計によって計測された水位変化である。ハイドログラフには大きな3回のピークが現れている。写真-6の3回の土石流ローブは、このピーク時に発生したものと推定される。狭窄部を抜けたラハールは山麓の扇状地では大きく2つに分岐し、さらにそれぞれがいくつもの網状

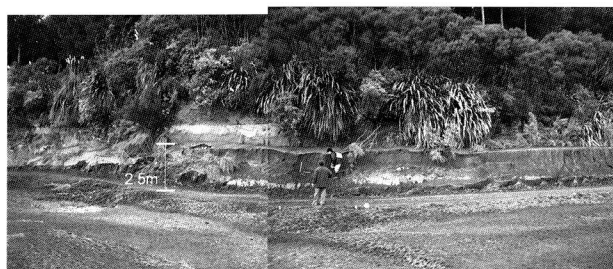


写真-10 ストラッチャンズ橋上流の道路を埋めたラハールの泥質成分
(厚さ2.5mの砂泥が道路全体に堆積した。ラハールの水面はさらに高く、植生が白くなった高さまで達していた。)

流を形成しながら流下した(写真-7)。

扇状地から下流のワングエフ川中流部は、ニュージーランド軍の演習地となっており、調査は許可されなかった。しかし、ここではラハールの流れは広く拡散し勾配も緩やかで、大きな流体力は持たないと予想された。いったん泥流となったラハールの流れは、タンギワイ橋より下流部の地溝帯(狭窄部)に入ってから再び河床礫を運搬している。

タンギワイ鉄橋上流には、ラハールと洪水の観測塔(Lahar sensor tower)があり、ここにはホライゾンのウェブカメラが設置してある。3月18日には、このカメラによってラハールが観測塔に衝突する瞬間が撮影された(口絵写真-6)。観測塔には非触水型水位計やレーザー流速計が設置されており、これらのデータは現在解析中である。口絵写真-6において、ラハールが観測塔に衝突したときの水面のせり上がり高さは6.2mであった。また、最高水位に達するまでにわずか30分間であった(写真右上に表示した時刻参照、12:27-13:09)。

また、ワングエフ川中流部に設置されたカメラ(写真-8)や水位計、濁水サンプラーは、ラハールの流動過程を完全に捉えた。写真-9は、火口より45km下流の台地上に設置した自動撮影スチールカメラの映像である。カメラは、ストラッチャンズ橋(Strachans bridge)の下流側に向けて設置され、1分間隔で撮影された画像には、ラハール先端部の急速な水位上昇が捉えられていた。

写真-9において、【12:32】は、ラハールが通過する前のワングエフ川である。【13:35】で突然水位が上昇をはじめ、その14分後(【13:49】)には、ラハールは道路に溢れはじめ、そのわずか20分後(【13:55】)には、道路の高い位置を流れている。【14:08】では、最高水位に達して広い範囲が冠水しており、【15:59】では水は引き始めている。このようにラハールでは、わずか20分でピーク流量に達するという、通常の洪水よりはるかに急速な水位上昇が生じていたことがわかる。また、このときストラッチャンズ橋は完全のラハールに飲み込まれたが流失は免れた(口絵写真-7)。橋の上下流には約2.5mの厚さで砂泥が覆っていたが、約1ヶ月後には復

旧した（写真-10）。

発生源から70 km下流の地溝帯の中流部に位置するコリアーズ橋（Colliers Bridge）において、ラハールの水位と土砂濃度を自動計測した。また、ラハール発生から4週間後に、河道横断形の測量を行い、ラハールによる河畔域の破壊状況を調査した。

その結果、ラハールは段波を形成して流下し、コリアーズ橋では段波先端部が到達した後わずか30分で約8 mの最高水位に達し、段波の通過後数時間で水位は遁減した。また、ラハールはピーク流量時に採水装置が停止するほどの高濃度の流体であったことが判明した。ラハールの濃度成分は、発生源から7 km下流の扇状地上流で大・中・小礫成分（2 mm～75 mm）が60%、発生源から39 km下流のタンギワイ橋で粗砂、細・中礫成分（0.85 mm～4.75 mm）が80%、70 km下流で細砂・中砂成分（0.075 mm～0.85 mm）が約80%と、下流に行くにしたがい徐々に細粒化していた。また、高濃度のラハールにより運搬された礫は、中流部（70 km地点）で最大径40 cmを超えていた。このように火口湖決壊型ラハールは、地形条件によって、土石流、高濃度泥流、低濃度泥流と変化し、また水位と流速を変化することにより、流下経路にそって動態を変化させる。また、20～30分間で急速に水位の上昇する、非常に危険な段波状の流れを形成することがわかった。

8. おわりに

2007年3月18日の火口湖決壊によるラハールは、科学者と技術者と市民の連携により、いわば、その動態が完全に把握できた非常に珍しいケースであったといえる。また、人的被害がなかったのは、この地域の人口が少なく土地利用に余裕があったことも幸いした。わが国でこのような現象が生起した場合には相当な災害になるものと危惧される。自然災害には現在の技術で予測可能な現象と予測不可能な現象がある。火口湖決壊型ラハールはある程度被害範囲の想定できる現象である。このような予想可能な現象こそ、重点的にモニタリングするべきである。わが国においても、ラハールの予測・警戒避難の監視・警戒システムの整備が早急に望まれる。

謝 辞

本国際共同研究は、科学研究費補助金基盤研究（B）海外学術調査（代表 丸谷知己、課題番号17405002、2005～2007）によって行った。また、本共同研究の開始にあたり、GNS自然災害部門長Terry Webb 博士のご理解を得た。現地調査では、ニュージーランド環境省のHarry Keys博士に多くの情報をいただいた。さらに、観測データの収集にはMassey 大学、Horizons Regional Council およびGNSの多くの研究者の協力を得た。写真および図版の使用については、New Zealand Herald 社、Ruapehu Bulletin, G.T. Hancox, G. Mackley, DOCのH. Keys, Horizons Regional Councilの許可を得た。

引用文献

- Hicks G. and Campbell H.(1998) *Awesome Forces -Natural Hazards that threaten New Zealand*, 159 pp, Te PaPa Press, Wellington
- Manville V.(2004) Paleohydraulic analysis of the 1953 Tangiwai Lahar: New Zealand's worst volcanic disaster. *Acta Vulcanologica*, Vol.16, No.1-2
- New Zealand Herald(2007) News (Monday, March 19 2007), A 1-A 2
- Stilwell W.F., Hopkins H.J. and Appleton W. (1954) Tangiwai Railway Disaster(Report of Board of Inquiry), 31 pp, Owen R. E. Government Printer, Wellington
- (Received 5 June 2007 ; Accepted 25 June 2007)

^{注)}ラハール (lahar)：ラハールとは、火山灰や粗粒の火山噴出物が水と混合して流下する流体で、しばしば火口湖から流出する。また、この流体が停止したマウンドをさす場合もある。このような火山起源の泥流を、インドネシア語を語源としてラハールと呼ばれる。

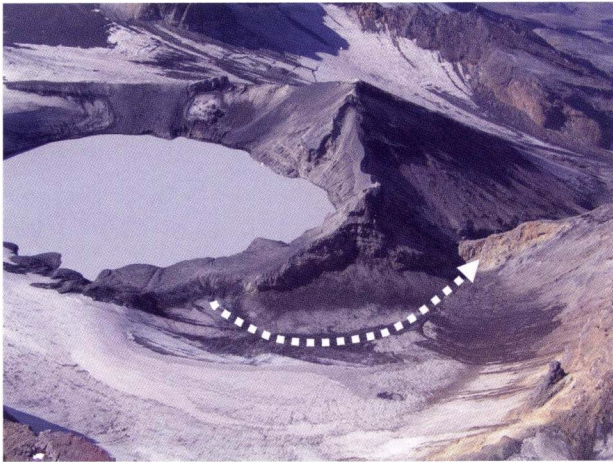
A flow of volcanic material, both ash and coarser products, mixed with water; often caused by the spilling over of a crater lake. Also used to describe the mound formed on the ring plain where the lahar stops. (The living mantle, Les Molloy, Mallinson Rendel Publ., 1998)

Such a flow is called a lahar, an Indonesian word referring to mudflows of volcanic origin. (Geosystems, Robert W. Christopherson, Prentice-Hall. Inc, 2000)

〈災害報告〉

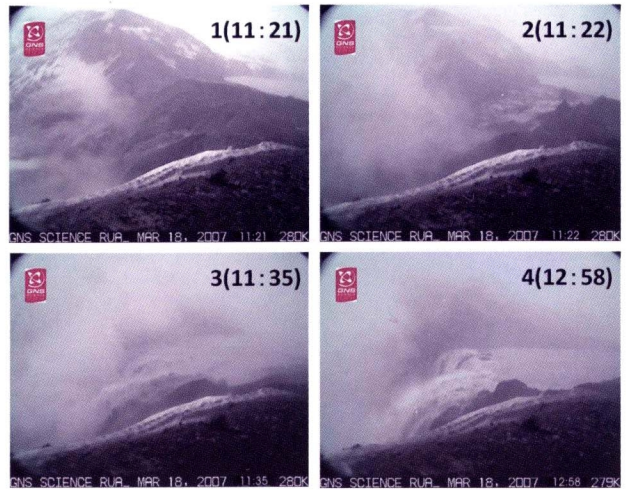
ニュージーランド北島ルアペフ火山の火口湖決壊によって発生したラハール

(本文 59－65 頁参照)



(Photo taken by G.T. Hancox, GNS)

口絵写真－4 決壊前のルアペフ火口湖と予想されたラハール流下経路(白い破線)



口絵写真－5 クレーター決壊の瞬間
(シーン1【11：21】の右端に火口湖が、中央部には黒いクレーターが見える。その1分後【11：22】ではクレーターが消失し、流出が始まっている。さらに、3【11：35】では湖水が激しく流出し、4【12：58】ではクレーター壁は完全に消え去っている。)



(Bottom 2 pictures are from the Horizons Regional Council web-cam.)

口絵写真－6 タンギワイ鉄橋上流の洪水観測塔(Lahar sensor tower)に衝突するラハール
(観測塔上部に張り出しているアームは、非触水型水位計。)



(Copyright : New Zealand Herald)
口絵写真－7 ラハールに沈むストラッチャンズ橋と道路
(通常は、ワンガエフ川は橋の下を流れている。)