

火山碎屑物質の再動・再堆積作用と火山災害 —ニュージーランド北島, タウポ噴火(1800年前)の例—

by
片岡香子*¹・Vern MANVILLE*²

Remobilisation and re sedimentation of volcanoclastic debris and associated volcanic hazards : an overview of the aftermath of the 1.8 ka Taupo eruption, New Zealand

by
Kyoko KATAOKA*¹ and Vern MANVILLE*²

Abstract

Volcanic activities provide cataclysmic hazards to surrounding environments and human life by various eruptive and hydrologic processes, e.g., lava flows, pyroclastic flows, pyroclastic fallout, debris avalanches, debris flows, and flood flows. Although there are many studies dealing with the prevention and mitigation of volcanic hazards, these are mostly concentrated on primary eruptive processes occurring in areas proximal to active volcanoes. However, studies from historic and pre-historic eruptions have shown that the remobilisation and re sedimentation of volcanic debris in the aftermath of an eruption will potentially generate severe hazards in far-distant downstream areas, especially when a large-scale rhyolitic eruption triggers the remobilisation. This paper introduces the research on volcanoclastic remobilisation and re sedimentation in the aftermath the 1.8 ka Taupo eruption, Northern Island, New Zealand that have been addressed mainly by groups from the Institute of Geological and Nuclear Sciences and the Department of Geology at the University of Otago, New Zealand.

Spatiotemporal variations in volcanoclastic remobilisation and re sedimentation occur along the Waikato River in response to the 1.8 ka Taupo large-scale explosive eruption. During the eruption, climactic emplacement of the Taupo ignimbrite (30 km³) caused the destruction of drainage networks and modification of pre-existed topography over an area of 20,000 km². This resulted in drastic depositional system changes not only in proximal areas directly affected by ignimbrite deposition but also in far downstream areas, beyond the limit of ignimbrite emplacement, by inundation with large volumes of reworked volcanoclastic debris.

The example from the aftermath of the 1.8 ka Taupo eruption shows two significant points in terms of volcanic hazards. Firstly, the hydrological remobilisation of volcanoclastic material and its impact may constitute severe hazards more widespread and persistent than the primary eruptive impacts. Although people living far from volcanoes are usually prone to ignore volcanic hazards because they are less affected by primary volcanic ejecta, they may be vulnerable to the impacts of remobilisation and re sedimentation of volcanoclastic debris on such

*¹ 新潟大学積雪地域災害研究センター

*² Institute of Geological and Nuclear Sciences, Wairakei Research Centre, New Zealand

distant areas. Secondly, for rhyolitic caldera volcanoes associated with emplacement of a large-ignimbrite, the delivery pattern of volcanic sediment load through river drainages does not match with that of cone type stratovolcanoes, for which models are available. The nature and distribution of ignimbrite relative to topography and drainage patterns enhances the formation of ephemeral and intra-caldera lakes that can impound large amounts of water after the eruption. Such impoundments can potentially cause catastrophic outbursts and floods and complicate predictions of the timing and scale of remobilisation in the aftermath of the eruption.

Thus, volcanoclastic resedimentation by various hydrologic processes can create more serious hazards than actual volcanic eruptions, in terms of variety, persistence, extensiveness, and sudden onset. Hence, studies on the sedimentological features of volcanoclastic material should be enhanced for further understanding, prevention, and mitigation of post-eruptive volcanic hazards by volcanoclastic remobilisation and resedimentation.

Keywords : Post-eruptive sedimentary response, Remobilisation, Resedimentation, Rhyolitic eruption, Volcanic hazard, Volcanoclastics, Taupo ignimbrite

1. はじめに

爆発的噴火によって生産される火山砕屑物は、噴火後急速に土石流や洪水流などによって再移動・再堆積する。火砕物の再動・再堆積作用は、一度堆積した火砕物を異なった位置に移動・堆積させ、堆積物の当初の特徴を変化させる。そのため、このような作用は噴火現象の初生的情報を攪乱するものとしてしばしば誤認される。再堆積した火山砕屑物の意義は軽んじられる傾向にあり、検討も多くなされてきたとは言いがたい。また、火山災害研究における火砕物質の再動・再堆積作用はラハールとの関わりで取り上げられることが多く、単発的な土砂運搬メカニズム（すなわち土石流など）については研究はあるものの、火砕物質の大量運搬・大量供給による周辺堆積システムの変化（火砕物質供給のシステムに対する負荷）についてはあまり論じられていない。

ニュージーランド北島にあるタウポカルデラ (Taupo caldera) では約1800年前にタウポ噴火とよばれる大規模な噴火が起きた。この噴火による初生堆積および再堆積性火山砕屑物は、噴火時のみならず噴火後の火砕物質の動きを克明に記録している。その火砕物の再動・再堆積作用については、ニュージーランド（とくにOtago大学とInstitute of Geological and Nuclear Sciences）の研究者により近年盛んに研究がなされてきた（例えばR. Smith, 1991; Manville et al., 1999; White et al., 2001; Manville, 2001, 2002; Segschneider, et al., 2002a, b）。

筆頭著者は、2002年7月にAmerican Geophysical Union, Western Pacific Geophysics Meeting 参加のためニュージーランド北島ウェリントンを訪れた。学会終了後、Institute of Geological and Nuclear Sciences, Wairakei Research Centreを訪問し、センター研究員であるManville氏とともに、彼が長年研究を続けているタウポ周辺の火山砕屑物を観察する機会に恵まれた。タウポ周辺ではオルアヌイ (Oruanui) 噴火の堆積物（約26500年前）とタウポ噴火の堆積物を観察したが、今回は後者について報告し、タウポ噴火の噴火後 (post-eruptive) における火砕物質の運搬・堆積過程についての研究を紹介する。また、火山災害の中でも、とくに噴火後の火砕物質の水力プロセスによる再動・再堆積作用に関わるものについてコメントする。

2. 地質概説

ニュージーランド北島にはタウポ火山帯 (Taupo Volcanic Zone) とよばれる全長300kmの火山帯があ

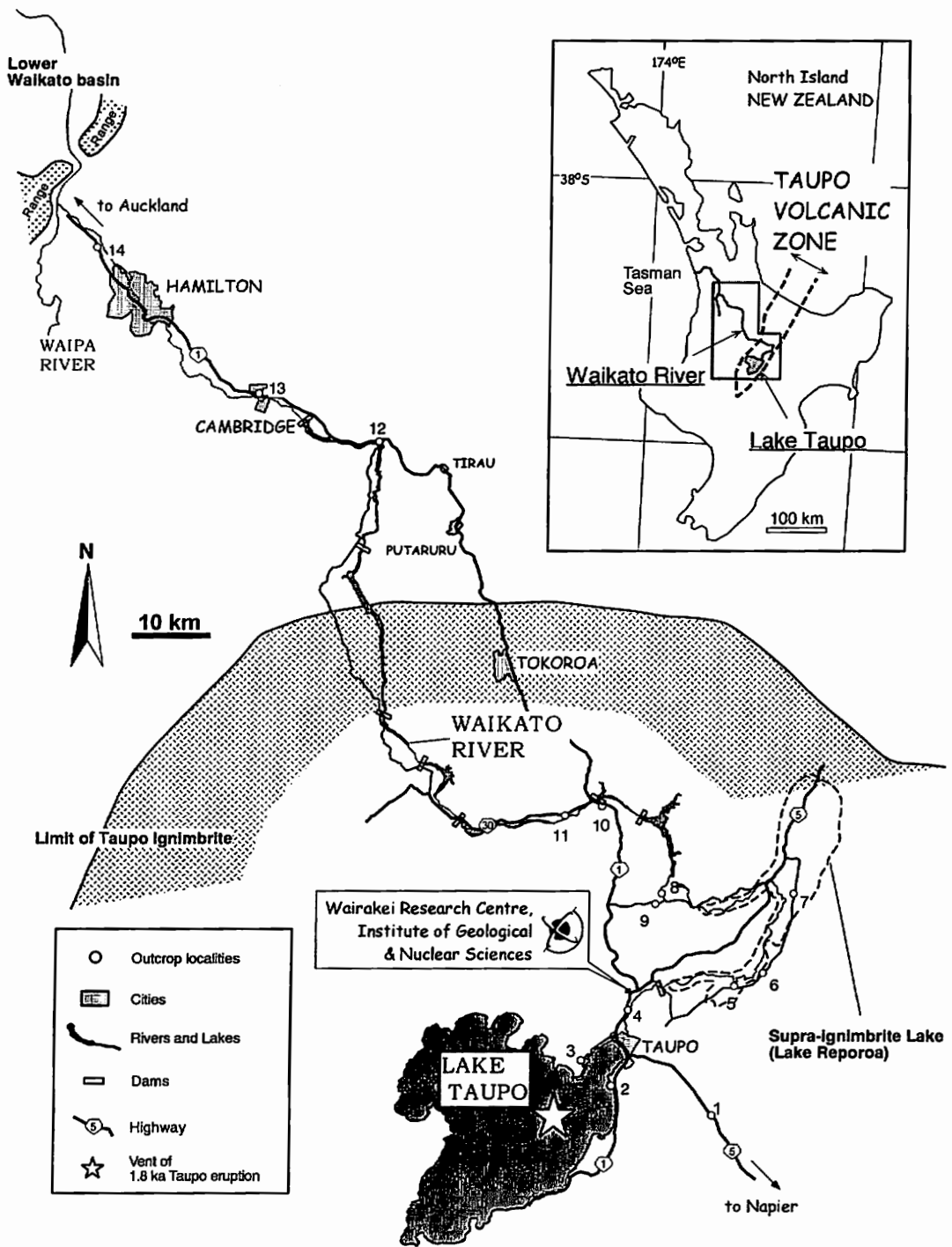


Figure 1 : Index map around Lake Taupo, North Island, New Zealand, showing the location of outcrops.

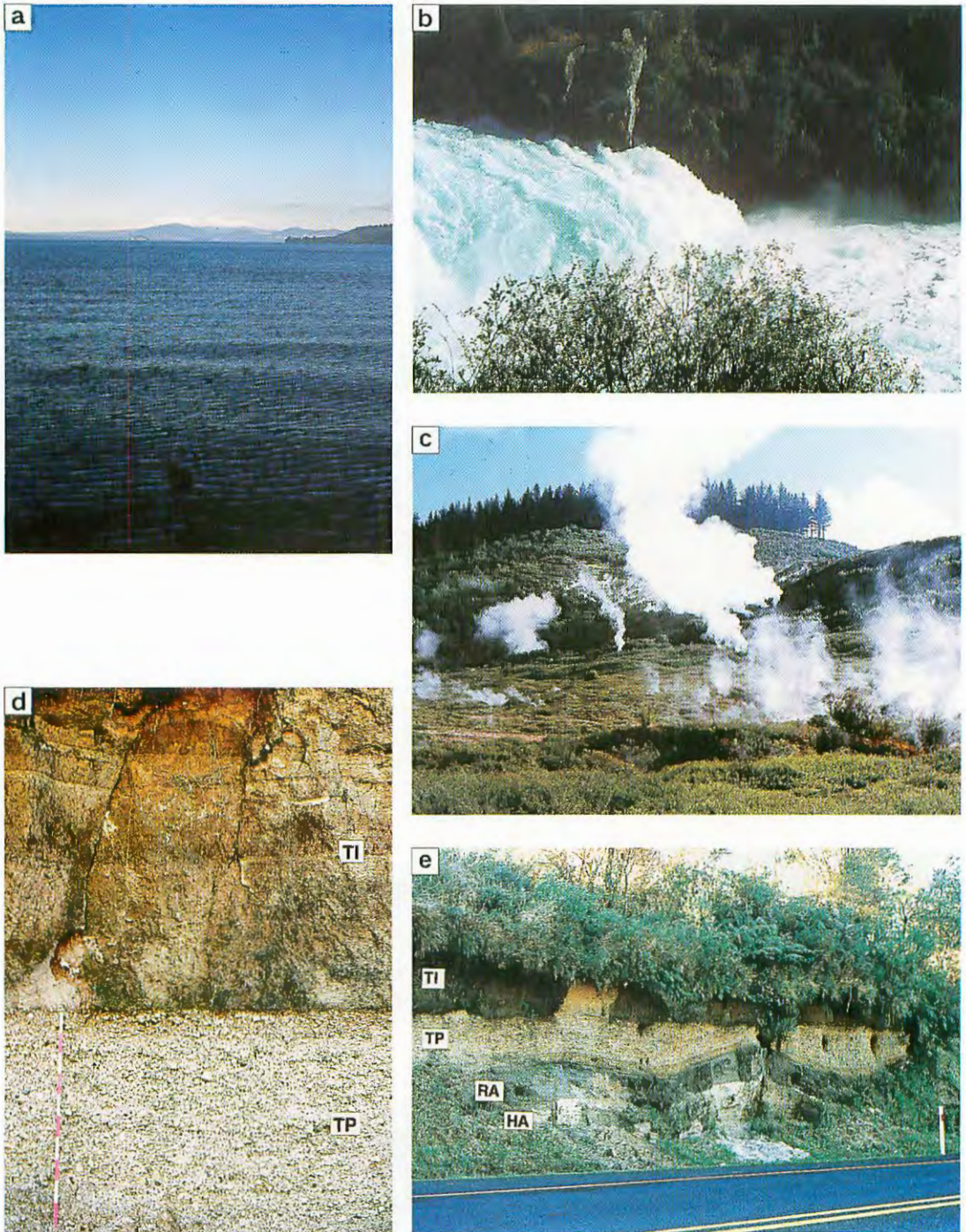


Figure 2 : a) View of Lake Taupo and Tongariro National Park area (snow capped). b) Huka Falls on the Waikato River, 6 km downstream of Lake Taupo (loc.4). c) Wairakei thermal area close to the Waikato Research Centre, IGNS. d) Medial products of the 1.8 ka Taupo eruption at Napier-Taupo Highway 5 (loc.1). Taupo Plinian pumice (white part) overlain by Taupo ignimbrite (pumiceous pyroclastic deposits, brownish). Note sharp erosional contact between deposits. e) Hatepe ash (palegray, partly eroded), Rotongaio ash (dark gray, mantling underlying Hatepe ash), Taupo Plinian (pumiceous, white), and Taupo ignimbrite (brownish), in ascending order. Plinian fall deposits show mantle bedding whereas ignimbrite shows strong erosional characteristics (loc.1).

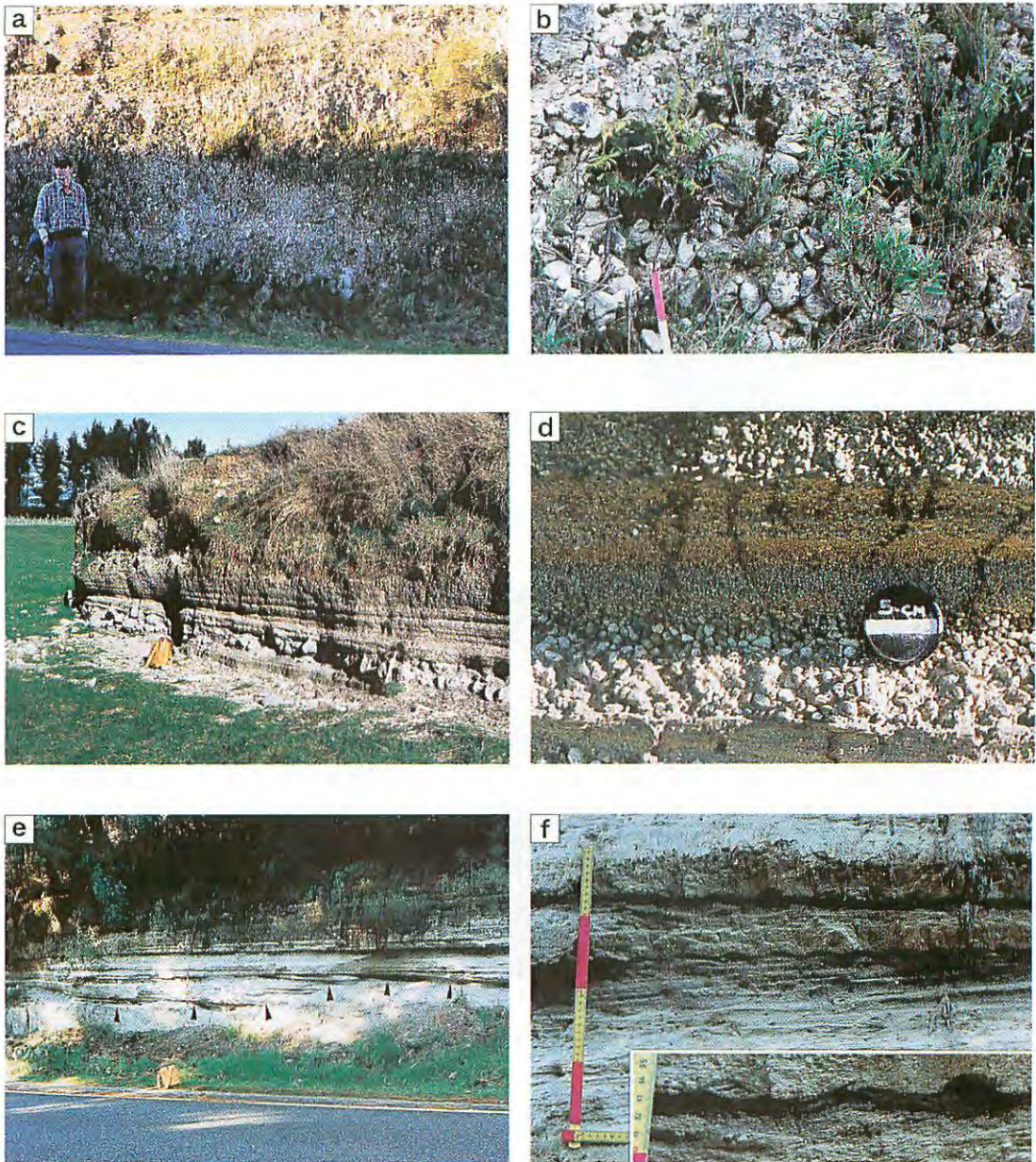
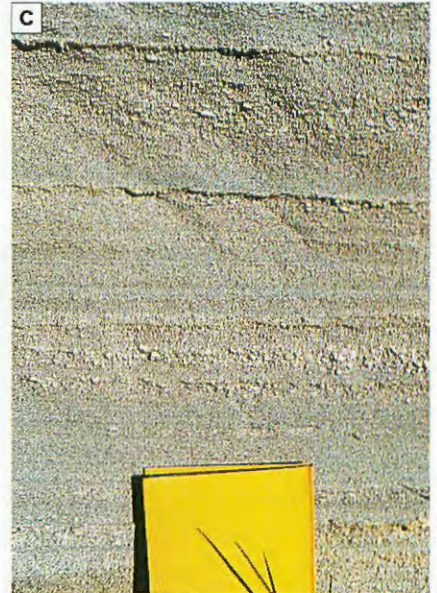


Figure 3 : a) Valley-pond type Taupo ignimbrite at locality 8 (Orakei Korako Road). b) Openwork pumice clasts show fines depletion of the deposits, a characteristic of valley ponded ignimbrite (loc.8). c) Post-eruption intracaldera lake sediments (Five Mile Bay, loc.2). d) Openwork and well-sorted beach deposits (reworked pumice, loc.2). e) Primary Taupo eruption deposits overlain by transgressive shoreline deposits laid-down during the post-eruption refilling of intracaldera Lake Taupo. Stratified shoreline deposits (reworked volcaniclastics) onlap the Taupo ignimbrite (Acacia Bay Road, loc.3). f) Symmetrical ripple cross-lamination in volcaniclastic sediments indicating storm wave modification in a nearshore environment in the lake (loc.3).



Figure 4 : a) Chaotic mixture of pumiceous sand and gravel and charcoal fragments indicating subaqueous debris flow in an ephemeral supra-ignimbrite lake (loc.5). b) Outcrop at White Road (loc.6). Fluvially resedimented pumiceous sand and gravel showing hyperconcentrated flow deposits. c) Crude horizontal stratification of hyperconcentrated flow deposits (loc.6). d) Horizontal- and ripple-laminated fine volcaniclastic sands and silts of ephemeral Lake Reporoa (supra-ignimbrite lake, loc.7). e) Ripple cross-lamination of supra-ignimbrite lake sediments (loc.7).



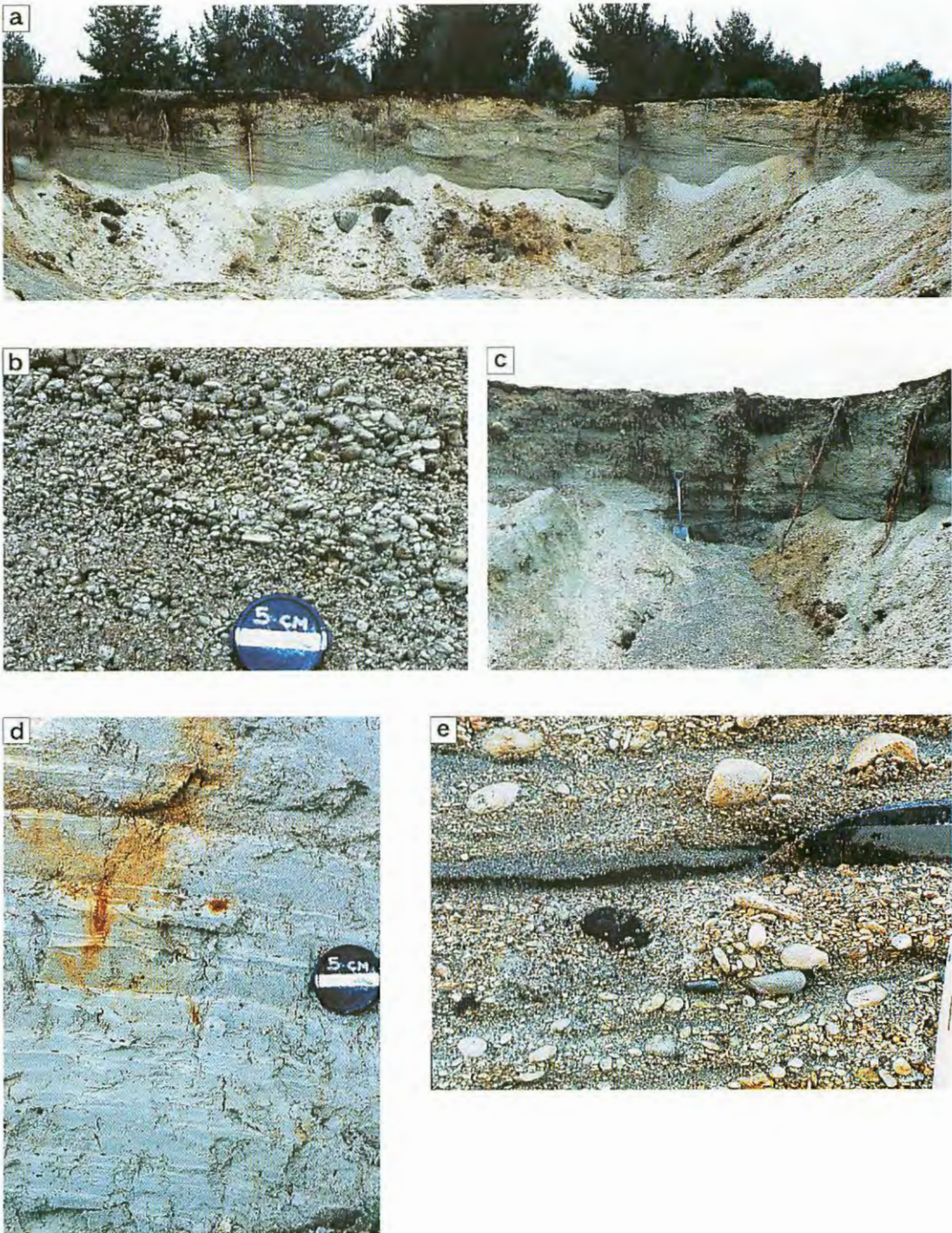


Figure 5 : a) Post-Taupo eruption volcaniclastics. Large-scale cross bedding indicative of volcaniclastic resedimentation in braided streams. Atiamuri Pumice Quarry (loc.11). b) Close up of cross-stratified volcaniclastic deposits. Rounded pumice clasts set along the stratification (loc.11). c) Taupo breakout flood deposits (middle horizon) dominated by dense lithic clasts and crystal fragments resulting in a dark gray colour. d) Perry Horotiu Quarry, Hamilton (loc.14). Fluvially resedimented volcaniclastics at distal location. Floodplain vitric fines (flood flow origin, probably). e) Fluvially resedimented pumice and charcoal gravels (loc.14).

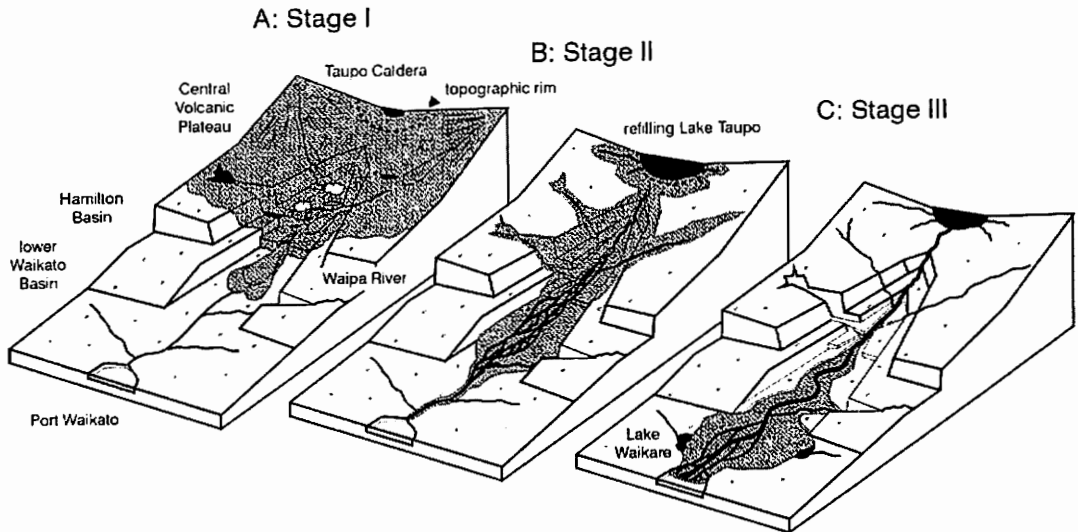


Figure 6 : Schematic representation of the pattern of sedimentary response to the Taupo eruption (Manville, 2002). Shaded areas mark zones of active resedimentation; black areas represent lakes. A, Stage 1: early remobilization. Secondary pyroclastic flows, phreatic explosions (small clouds), and debris flows (teardrops) are ubiquitous within the area of ignimbrite emplacement. Intense rilling occurs on ignimbrite-draped slopes and uplands. The Waikato valley is choked by ponded ignimbrite. Ephemeral lakes develop in depressions and dammed side valleys. B, Stage 2: fluvial reestablishment. Uplands begin to stabilize through the cessation of rilling, drainage network integration, and revegetation. Runoff becomes confined to a few large channels, leading to the development of ephemeral to perennial braided streams. Headward erosion, though ponded ignimbrite yields volcaniclastic material that contributes to downstream progradation of the braided river system. C, Stage 3: Lake Taupo breakout flood. Landscape has largely stabilized. Active resedimentation is largely confined to the valley floor between abandoned ignimbrite and older fluvial terraces. Flood stage inundation of the basin plain causes rapid deposition of pumiceous deposits, damming tributaries to form large shallow lakes. An extensive braid delta develops at the river mouth. Waning flow entrenches the Waikato River in a single channel (thick line).

る(図1)。この火山帯では第四紀における火山活動が活発におこり、とくにカルデラ形成をとまなう珪長質噴火が繰り返し発生した(Houghton et al., 1995; Wilson et al., 1995)。ニュージーランド北島の中心部にあるタウポ湖(Lake Taupo)は、その面積が620km²、貯水量が60km³とタウポ火山帯の中では最も大きなカルデラ湖である(図1, 2a)。タウポ湖の北側は26500年前のオルアヌイ噴火と1800年前のタウポ噴火によって現在の形が作られた(Self and Healy, 1987; Wilson et al., 1984; Wilson, 1993)。この湖からは唯一の流出河川であるワイカト川(Waikato River)に毎秒130m³の流量を供給している(図2b)。

ワイカト川はその集水域、年平均流量、長さ(全長425km)においてニュージーランド北島で最も大きい河川である。この川はタウポ湖を水源とし、レポロア堆積盆(Reporoa Basin)までは北東方向へ、そこから下流域へは概ね北西方向に流下していく(図1)。後期更新世に形成された段丘や第四紀の溶結した火砕流堆積物および溶岩流などの間にできた狭窄部を通り、ハミルトン堆積盆(Hamilton Basin)下流域でワイパ川(Waipā River)と合流し、ワイカト堆積盆(Waikato Basin)を越えて最終的にはタスマン海(Tasman Sea)に注ぐ。なお、ワイカト川にはタウポ湖から180km下流域の間に8つのダム湖があり(Hill, 1975)、その水力発電と流域にある2つの地熱発電所によってニュージーランド総電力生産量の25%以上を供給している。

このタウポカルデラでのもっとも新しい爆発的噴火はタウポ湖の湖底を噴出中心とするもので、約1800年前(西暦181年)に起きた(Wilson and Walker, 1985)。このとき105km³(マグマ換算にして約35km³)の噴出物がもたらされた。プリニー式噴火の堆積物は噴出源東側に分布し、厚さ0.1m以上で30000km²の範囲

を覆った。また軽石質火砕流堆積物（イグニブライト）はタウポ湖から約80km以遠に流下し、噴出源を中心とした円状に20000km²にもわたり広がった（Wilson and Walker, 1985; Wilson, 1985）。軽石質で細粒な火砕流堆積物は噴火前の地形を覆い、特に谷などのへこみを5～60m埋積した（Walker et al., 1981; Wilson, 1985; Wilson and Walker, 1985）。この火砕流噴火により植生は破壊され、周辺の水系は谷や河川の埋積やせき止めにより噴火以前のものと比べ大きく変化した（R. Smith, 1991）。

3. 火山噴火後のシナリオと周辺堆積域での環境変化

タウポ噴火後のシナリオは、周辺の地形および再堆積したものを含む火山砕屑物の特徴と層序関係に基づき4つのステージ区分がなされている（Manville, 2002; 図6）。さらに火山砕屑物の地質学的・堆積学的・水理学的検討からは、噴火後の火山砕屑物の運搬（供給）量や、河川流量、堆積環境などの復元がされている（Manville et al., 1999; Manville, 2001, 2002）。それぞれのステージに関わる堆積物は、タウポ湖近傍からワイカト川流域の段丘・平野部（ハミルトン）に至るまで連続的に観察できる（図1, 地点1～14）。

ステージ0：噴火発生とイグニブライトの定置（噴火後約1時間）

タウポ噴火におけるプリニー式噴火の降下火砕物は噴出源東側に主に分布する（地点1）。この火砕物の降下作用により、風下側の森林は破壊された。イグニブライト（軽石質火砕流堆積物）は火道から半径80kmも遠方に流走し、噴火前の地形を覆い、特に谷などのへこみを5～60m埋積した（Walker et al., 1981; Wilson, 1985; Wilson and Walker, 1985; 地点1, 8, 図2d, 2e, 3a, 3b）。また、ワイカト川につながるカルデラ湖からの流出口は、イグニブライトにより塞がれた。

ステージ1：噴火直後の火砕物質再動・再堆積作用（噴火後2, 3年）

二次的に発生した火砕流や、二次的な水蒸気爆発、土石流などによって火砕物質は再動された。この作用は、とくにイグニブライトが堆積した噴出源に近い地域で起きた。またイグニブライトが覆った斜面や台地では、リルやガリーなどの侵食構造が発達した。ワイカト川は谷埋めタイプのイグニブライトによってせき止められ、イグニブライトの上いくつもの湖が一時的に形成された（Manville, 2001; 地点5, 7, 図4a, 4d, 4e）。

ステージ2：河川システムの再構築（噴火後約2, 3～20年）

火砕流台地での（リルなどの）侵食が緩和し、水系ネットワークの癒合や、植生の回復などにもない、より安定した河川システム内での火砕物質の移動・堆積が起こった。表流水はまとまっていくつかの河川流路を形成し、土石流やハイパーコンセントレイティッド流などマスフローによる堆積から（地点6, 図4a, 4b, 4c）、間欠的または恒常的な網状河川システム内での堆積へと概ね変化する（地点11, 図5a, 5b）。谷埋め型のイグニブライトの谷頭侵食により、火砕物質の供給量が増大し、河川内における再動・堆積作用はイグニブライトの分布域を越えた下流域（ハミルトン堆積盆）へも波及した。また、イグニブライトの上にてきた湖の埋積がおこり、タウポ湖の水位が上昇した（地点2, 3, 図3c, 3d, 3e, 3f）。

ステージ3：タウポブレイクアウト洪水（噴火後20年）から現在

周辺の地形や堆積域は広域に安定となった。噴火から約20年間、流出口をせき止められたタウポ湖はその水位を上昇させ（およそ34m、現在の湖水面より上昇した）、ついにはそのせき止めを越えて多量の湖水があふれ出した。カルデラ湖に湛えられていた水が一気に下流域へと流下し、これはタウポブレイクアウト洪水とよばれている（Manville et al., 1999）。この時、およそ20km³の流量を1, 2週間で排出し、ピーク時の流量は毎秒17000～30000m³と見積もられている。このときの再堆積の活動域は放棄されたイグニブライトと古い段丘との間の谷部に集中した。この洪水は上流域においては非常に侵食的で、中流域では火砕物を再堆積させた（地点11, 図5c）。さらに、洪水の影響はイグニブライトの分布限界を越えて、

40km以上下流（ハミルトン堆積盆やワイト堆積盆）にも達し、土石流や洪水流による埋積が起きた（地点12, 13, 14, 図5d, 5e）。ワイト堆積盆では、ワイパ川などの支流からの水流により、火砕物の流入が希釈され、火砕物の堆積が規制された。流れは最終的に弱まり、ワイト川は単一の河川（網状でなく）となり、ほぼ現在の位置に収まった。

4. 噴火後の火砕物再堆積作用にともなう火山災害

1800年前に起きたタウポ噴火の噴火後におけるワイト川流域での火砕物再動・再堆積作用の特徴としては、1) 再堆積した物質の起源はそのほとんどが大量に噴出されたイグニンプライト（軽石質火砕流堆積物）であること、2) 噴火そのものによるインパクトよりも広域に影響を及ぼすこと、3) 噴火よりもその継続時間が長いこと、4) 作用そのものが時間空間的に非常に多様性に富むこと、5) カルデラ湖決壊による大洪水が再堆積の末期に発生したこと、などがあげられる。このようなことから噴火後における火砕物の再堆積作用は、火山災害とその防止や軽減を考慮する上で、初生的噴火現象と同等（もしくはそれ以上に）に注意されなければならない。周辺堆積システムを劇的に変化させたタウポ噴火の例は、火山災害の軽減を考慮する上で、以下の2点について重要なことを示している。

第一に、水力プロセスによる火砕物質の再動作用とそれによるインパクトは噴火そのもののインパクトよりも広域に長時間にわたり及ぶことである。給源火山から遠く離れて住んでいる人々にはたいてい火山災害に対して無知・無関心であるが、これは噴火そのものによる影響（例えば噴出物の飛来）がその場所にはあまり及ばないからである。しかし、火砕物の再動・再堆積作用によってそのような遠方域にまで火山災害が広がる可能性がある。タウポ噴火の場合、降下火砕物は卓越風によって、噴出源西側（すなわちワイト川流域）よりも噴出源の東側に集中的に堆積している。しかしながら、ワイト川流域ではイグニンプライトの分布域を越えて、噴出源よりもはるか遠くの地域にも（噴出源より100km以上遠くでも）、洪水の発生や再堆積性火山砕屑物による堆積盆の埋積が起きた。すなわち、火山の噴出中心からの直接的な距離や初生的な火砕物の分布とは無関係に火砕物の再動・再堆積作用が及んでいるといえる。このことは、例えば火砕流堆積物がその場に堆積しなくても、火山灰が1粒たりとも降下しなくても、土石流や洪水が流下すること（火砕物の再動・再堆積作用）で堆積盆の埋積が起こる可能性が十分にあることを示している。

第二に、珪長質な噴火を起こすカルデラ火山はとりわけ大規模な火砕流堆積物をもたらすが、この場合、火山周辺の河川への火砕物質の供給パターンが、従来の研究で比較的解されている小中規模の噴火をもたらす成層火山周辺のそれと合わない点である。成層火山周辺の火砕物再動作用は、給源より100km以上土石流が流下するような例もあるが（Mothes et al., 1998）、多くの場合あまり広域に拡がらず噴出源より数十km以内で収まる。また現象の発生頻度も高く、現世・地層双方からの事例が多いため比較的予測しうる（Vessell and Davies, 1981; Smith, 1988, 1991; Lipman and Mullineaux, 1981; Newhall and Punongbayan, 1996）。例えば、Smith (1988, 1991) やVessell and Davies (1981) などの研究で代表されるproximal-distalモデルやsyn-/inter-eruptionモデルでは、噴出源からの距離や噴火後の時間経過にともなって、火砕物質の供給量が減少し、それにより再堆積作用の変化は規制されていると考えられている。一方、大規模な火砕流堆積物をもたらす珪長質噴火の場合、火砕流堆積物の物性（溶結・非溶結）や分布の影響で周辺の地形（水系）が急激に変化する。このとき、大量の水を貯めうるカルデラや、一時的な湖の形成に関与することもある。タウポ噴火の場合、噴火後に急速にカストロフィックな現象が起こったのではない。火砕流によりタウポ湖の出口となるワイト川がせき止められたために、降雨の蓄積（湖水位の上昇）がおこりそのカルデラ湖からのあふれ出しにより、噴火後数十年たった後に大洪水が発生している。同様に、レポロア堆積盆などに見られるイグニンプライトの上位に一時的に形成された湖も、バリアの決壊により洪水を引き起こしている。また、ワイト川下流域では支流であるワイパ川からの流れ込みにより火砕物を運搬する流れが急速に希釈された。もしこのとき火砕物を多く含む支流と合流することがあれば、その逆の作用（供給量の増大）が起こったであろう。これらは、火砕物運搬・供給量が噴火後の経過時間や流下距離に対し、必ずしも一様に減少しないことを示している。

このように、大量の火砕流堆積物を一気に供給する珪長質噴火にともなう火山砕屑物の再堆積作用は、

作用が広域に及ぶこと、大量の水を貯蔵・放水できる湖の形成があり得ること、そのため成層火山周辺に多く適応される噴出源からの距離と噴火後の経過時間との関係のみでは簡単に説明できないバリエーションを示すこと、が特徴といえる。そしてこれらは、噴火後の再動・再堆積作用の発生のタイミングやその規模を予測するのを困難にさせる要因となる。また根本的に、噴火が大規模な場合の再堆積作用は、小規模のものに比べて、その継続時間が長く続く可能性がある。

日本にもタウポ噴火と同様もしくはそれ以上の規模の噴火の堆積物がたくさん存在し、その大規模な火砕物再堆積過程が明らかとなりつつある(Nakayama and Yoshikawa, 1998; Yokoyama, 1999; Kataoka, 2002; Kataoka and Nakajo, 2002)。この様な噴火はその頻度こそ低いが、ひとたび起こると火砕物の再堆積が長期間継続し、現象も突発的となるため、非常に多くの人命を危険にさらすおそれがある。このことから、噴火後の火砕物質の再動・再堆積作用は、火山災害を考える上で無視できないと思われる。

5. おわりに

以上述べたように、火砕物質の再動・再堆積作用がもたらす周辺環境への影響は、噴火現象そのものよりも多大で、かつ、火山山麓や山間部のみならず平野域にまで及びうる。すなわち、このような現象は火山災害に直結するものであるという認識がなされなければならない。火山災害というとかく噴火時(syn-eruptive)の現象に目が向けられがちである。しかし噴火後(post-eruptive)の現象は、それがもたらす人的・物質的被害の広域性・持続性・突発性・多様性を考慮すると、さらに注目されるべきである。

これまで火山活動にともなう現象の研究においては、火山学・火山地質学的視点に基づき火山噴火の初生的プロセスを検討することや(例えば火砕物降下作用、火砕流、噴煙柱のメカニズムなど)、火山岩岩石学的観点からマグマの起源・生成プロセスについて論じることが多かった。一方、噴火後作用についての研究は、岩屑なだれや土石流についての研究はあるものの、火山碎屑物の再堆積作用が周辺の堆積システム全般に及ぼす影響について検討されることはあまり多くはない。さらにその中でも、大規模な珪長質噴火後における火砕物質の水力プロセスによる運搬・堆積作用と、それが既存の堆積環境に及ぼすカタストロフィックな影響について論じている研究は数え上げるほどしかない(例えばWalton, 1986; Buesch, 1991; R. Smith, 1991, Nakayama and Yoshikawa, 1997; Palmer, 1997; Manville et al., 1998; Manville, 2002; Kataoka and Nakajo, 2002)。また、とくに日本やニュージーランドのように火山活動が活発な地域では、火山碎屑物の堆積作用が及ぼす周辺環境への影響は無視できない。しかしながら、再堆積を含めた火砕物の堆積学的研究は未だ一般にはさほど理解されておらず(Vessell and Davies, 1981)、それに携わる研究者は世界的にも少なく40人ほどしかないのが現状である(Manville, 私信)。このような中、タウポ噴火後の火砕物質の再堆積作用について、その時間空間的変遷の詳細が明らかとなったのは、露頭や堆積物の保存条件の良さのみならず、ニュージーランドの研究者らが火山学・堆積学・水理学・地形学などの多角的視野を持って精力的にこの問題に取り組んだためといえる。複雑なプロセスが入り交じる噴火後現象を解明するには、ある一分野の学問領域からのアプローチだけでなく、分野に限定されない広い視野と異なる分野間の協力体制が必要である。

噴火後の火砕物質の再動・再堆積作用による火山災害についてその予測・軽減へとつなげるためには、このような作用がなぜ? どこで? どのように起こるのか? いつ起こり、どれくらいの期間継続するのか? ということがより明確にされなければならない。そのためには、現在や歴史時代の火山噴火に限らず、たとえ古い時代の地層からでも様々な情報を引き出し、さらに多くの事例を積み重ねることが必要であろう。そうすれば大小いろいろなスケールの噴火にともなう多様性のある噴火後現象について、より正しく理解していくことになる。それ以前に、火砕物質の再動・再堆積作用などの噴火後現象について我々が意外にも理解不足であるということ認識し、そこにはさまざまな研究課題が残されていることを知ってもらいたい。

謝 辞

第一著者のタウポ滞在時にはGeological & Nuclear Sciences, Wairakei Research Centreの方々にお世話になり、いろいろと便宜をはかっていただいた。新潟大学積雪地域災害研究センターの卜部厚志博士には、本稿を執筆する機会を与えていただき、いろいろと議論いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- Buesch, D. C. (1991): Changes in depositional environments resulting from emplacement of a large-volume ignimbrite. In: Fisher, R. V. and Smith, G. A., eds., *Sedimentation in Volcanic Settings*, SEPM Special Publ., 45, 139-153.
- Hill, C. F. (1975): Impounded lakes of the Waikato River. In: Jolly, V. H., and Brown, J. M. A., eds., *New Zealand lakes*. Auckland University Press, p. 140-149.
- Houghton, B. F. and Wilson, C. J. N., McWilliams, M. O., Lanphere, M. A., Weaver, S. D., Briggs, R. M., and Pringle, M. S. (1995): Chronology and dynamics of a large silicic magmatic system: central Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Geology*, 23, 13-16.
- Kataoka, K. (2002) Volcaniclastic resedimentation in distal fluvio-lacustrine setting induced by large-scale explosive volcanism: the Pliocene Mushono Volcanic Ash, central Japan. *EOS Trans. AGU*, 83(22), West. Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract, WP80.
- Kataoka, K. and Nakajo, T. (2002): Volcaniclastic resedimentation in distal fluvial basins induced by large-volume explosive volcanism: the Ebisutoge-Fukuda tephra, Plio-Pleistocene boundary, central Japan. *Sedimentology*, 49, 319-334.
- Lipman, P. W., Mullineaux, D. R., eds. (1981): *The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington*. USGS Professional Paper, 1250, 872 pp.
- Manville, V. (2001): Sedimentology and history Lake Reporoa: an ephemeral supra-ignimbrite lake, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. In: White, J. D. L. and Riggs, N. R., eds., *Volcaniclastic sedimentation in lacustrine settings*. Special Publs int. Ass. Sediment., 30, 109-140.
- Manville, V. (2002): Sedimentary and geomorphic responses to ignimbrite emplacement: readjustment of the Waikato River after the A. D. 181 Taupo eruption, New Zealand. *Jour. Geol.*, 110, 519-541.
- Manville, V., White, J. D. L., Houghton, B. F., and Wilson, C. J. N. (1999): Paleohydrology and sedimentology of a post-1.8 ka breakout flood from intracaldera Lake Taupo, North Island, New Zealand. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 111, 1435-1447.
- Mothes, P. A., Hall, M. L. and Janda, R. J. (1998): The enormous Chillos Valley Lahar: an ash-flow-generated debris flow from Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bull. Volcanol.*, 59, 233-244.
- Nakayama, K and Yoshikawa, S. (1997): Depositional processes of primary to reworked volcaniclastics on an alluvial plain: an example from the Lower Pliocene Ohta tephra bed of the Tokai Group, central Japan. *Sediment. Geol.*, 107, 211-229.
- Newhall, C. G. and Punongbayan, R. S., eds. (1996): *Fire and Mud-Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Philippine Institute of Volcanology and Seismology and the University of Washington Press, 1126 pp.
- Palmer, B. A. (1997): Sedimentary record of caldera-forming eruptions, Eocene Challis volcanic field, Idaho. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 109, 242-252.
- Segsneider, B., Landis, C. A., Manville, V., White, J. D. L., and Wilson, C. J. N. (2002a): Environmental response to a large, explosive rhyolite eruption: sedimentology of post-1.8 ka pumice-rich Taupo volcaniclastics in the Hawke's Bay region, New Zealand. *Sediment. Geol.*, 150, 275-299.
- Segsneider, B., Landis, C. A., White, J. D. L., Wilson, C. J. N., and Manville, V. (2002b): Resedimentation of the 1.8 ka Taupo ignimbrite in the Mohaka and Ngaruroro River catchments, Hawke's Bay, New Zealand. *New Zealand Jour. Geol. Geophys.*, 45, 85-101.

- Self, S. and Healy, J. (1987) : Wairakei Formation, New Zealand: Stratigraphy and correlation. *New Zealand Jour. Geol. Geophys.* , 30, 73-86.
- Smith, G. A. (1988) : Sedimentology of proximal to distal volcanoclastics dispersed across an active foldbelt: Ellensburg Formation (late Miocene), central Washington. *Sedimentology*, 35, 953-977.
- Smith, G. A. (1991) : Facies sequences and geometries in continental volcanoclastic sediments. In: Fisher, R. V. and Smith, G. A. , eds. , *Sedimentation in Volcanic Settings*, SEPM Special Publ. , 45, 109-121.
- Smith, R. C. M. (1991) Landscape response to a major ignimbrite eruption, Taupo Volcanic Center, New Zealand. In: Fisher, R. V. and Smith, G. A. , eds. , *Sedimentation in Volcanic Settings*, SEPM Special Publ. , 45, 123-137.
- Vessell, R. K. and Davies, D. K. (1981) : Nonmarine sedimentation in an active fore arc basin. In: Ethridge, F. G. and Flores, R. M. , eds. , *Recent and Ancient Non-marine Depositional Environments*. SEPM Special Publ. , 31, 31-45.
- Walker, G. P. L. , Wilson. C. J. N. , and Froggatt, P. C. (1981) : An ignimbrite veneer deposit: the trail-marker of a pyroclastic flow. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.* . 9, 409-421.
- Walton, A. W. (1986) : Effect of Oligocene volcanism on sedimentation in the Trans-Pecos volcanic field of Texas. *Geol. Soc. Am. Bull.* , 97, 1192-1207.
- White, J. D. L. , Manville, V. , Wilson, C. J. N. , Houghton, B. F. , Riggs. , N. R. , and Ort, M. (2001) : Settling and deposition of AD 181 Taupo pumice in lacustrine and associated environments. In: White, J. D. L. and Riggs, N. R. , eds. , *Volcanoclastic sedimentation in lacustrine settings*. Special Publs int. Ass. Sediment. , 30, 141-150.
- Wilson, C. J. N. (1985) : The Taupo eruption, New Zealand II. The Taupo Ignimbrite. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* , A 314, 229-310.
- Wilson, C. J. N. (1993) : Stratigraphy, chronology, styles, and dynamics of late Quaternary eruptions from Taupo volcano, New Zealand. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* A343, 205-306.
- Wilson, C. J. N. and Walker, G. P. L. (1985) : The Taupo eruption, New Zealand. I. General aspects. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* , A 314, 199-228.
- Wilson, C. J. N. , Rogan, A. M. , Smith, I. E. , Northery, D. J. , Nairn, I. A. , and Houghton, B. J. (1984) : Caldera volcanoes of the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Jour. Geophys. Res.* , 89, 8463-8484.
- Wilson, C. J. N. , Houghton, B. F. , McWilliams, M. O. , Lanphere, M. A. , Weaver, S. D. , and Briggs, R. M. (1995) : Volcanic and structural evolution of Taupo Volcanic Zone, New Zealand: A review. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.* , 68, 1-28.
- Yokoyama, S. (1999) : Rapid formation of river terraces in non-welded ignimbrite along the Hishida River, Kyushu, Japan. *Geomorphology*, 30, 291-304.