

② 断面図

層厚分布図に基づいて断面図を作成した。以下に、設定した断面線及び算出方法、断面図の作成結果を述べる。

1) 断面線の設定及び作成方法

断面図の作成にあたり、図 1.5-25 に示す 4 本の断面線を設定し、各断面に沿いに次の a ~ c の 3 種類の標高を計測し、断面図を作成した(図 1.5-26a~c)。

- a.基底面高度 : 基底面高度分布データから断面線沿いの標高値を抽出
- b.現存分布高度 : 現在の地形データから断面沿いの標高値を抽出
- c.復元高度分布 : 基底面高度分布データに復元層厚分布データを加えた復元高度分布データを作成し、断面線沿いの標高値を抽出 (9 種類)

なお、断面線沿いの標高値の抽出には、QGIS のプラグインとして用意されている「profile Tool」を用いた。

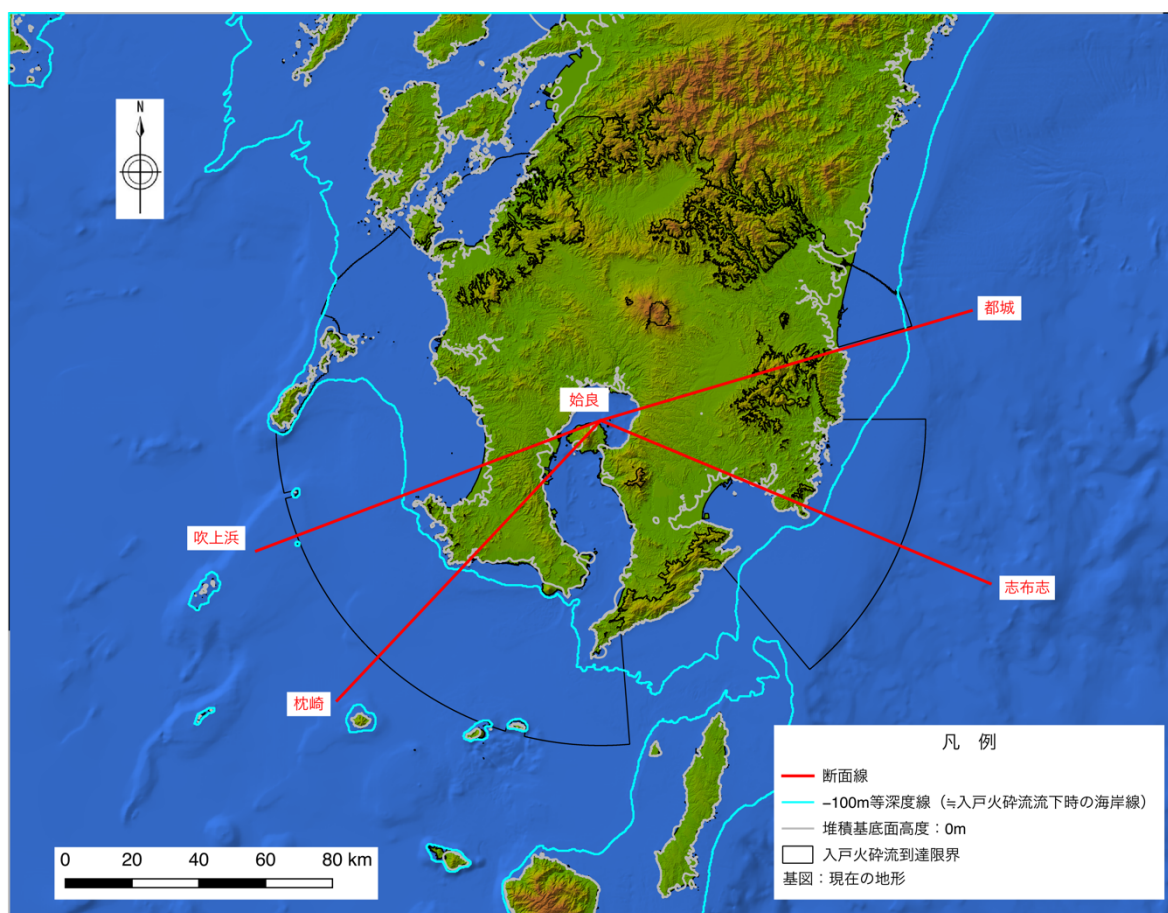


図 1.5-25. 断面線位置図

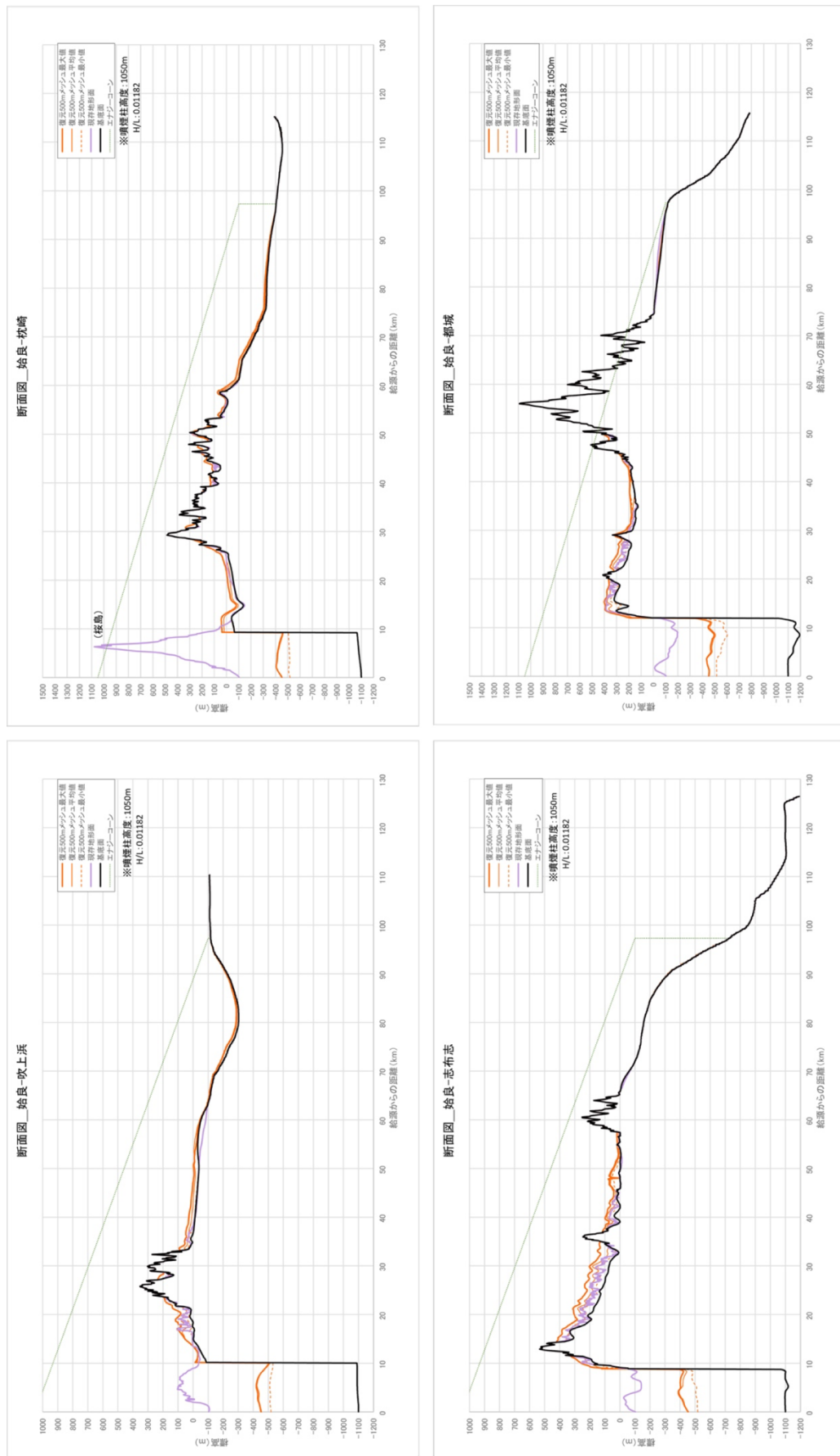


図 1.5-26a. 500m メッシュで作成した層厚分布図に基づく断面図

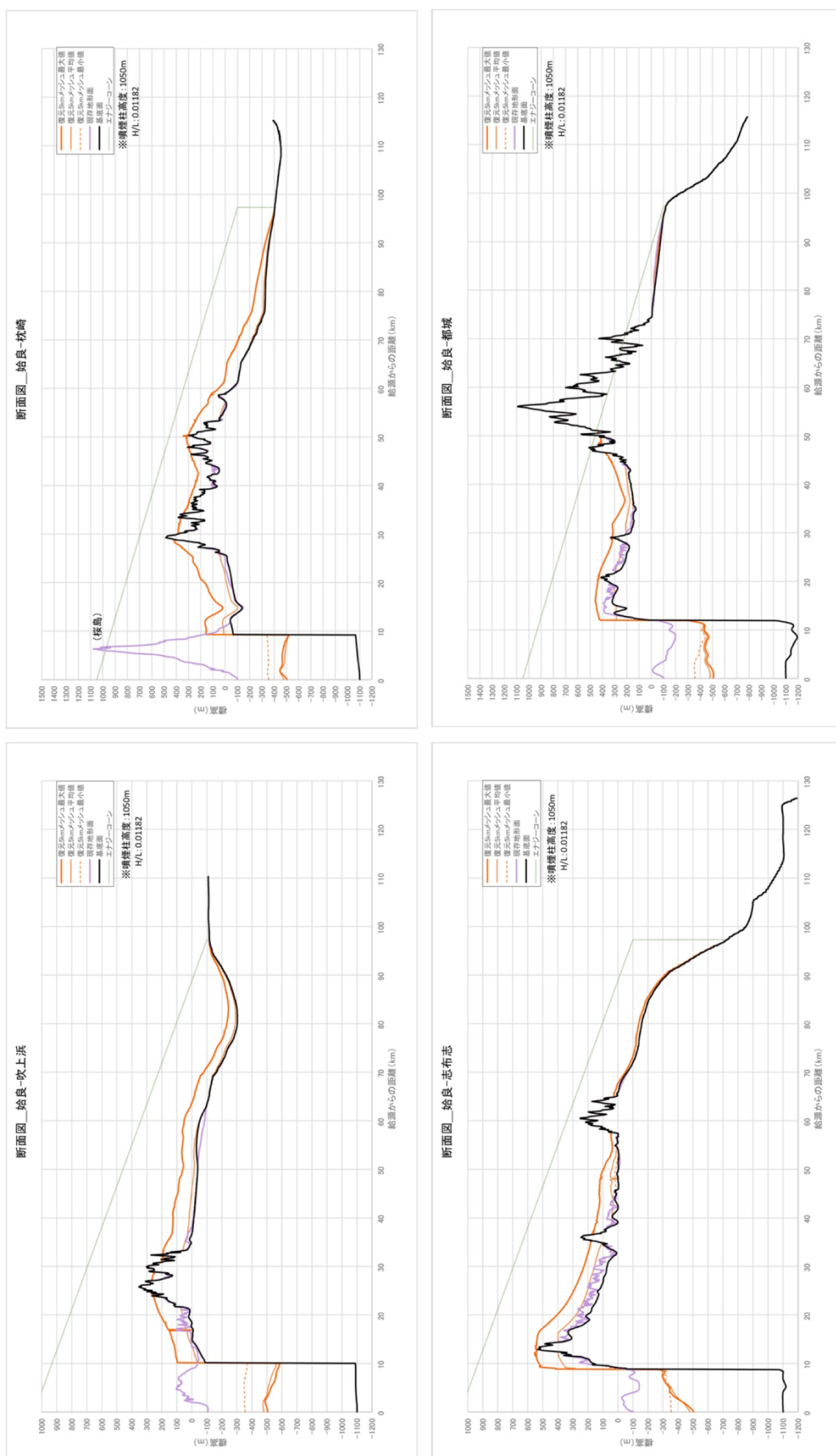


図 1.5-26c. 5 km メッシュで作成した層厚分布図に基づく断面図

体積の算出

入戸火砕流堆積物の現存体積及び復元体積を算出した。以下に、算出方法及び算出結果を述べる。

体積の算出方法

1) 現存体積

現存体積は、作成した現存分布図において入戸火砕流堆積物の現存分布域とした領域における、基底面高度分布データ（図 1.5-5）と、現在の地形データの標高の差分を、QGIS の地域統計ツールを用いて算出し、メッシュサイズ（100 m²）を乗じて、みかけ体積を算出した。また、溶結部の分布とその密度に関する情報に基づいて、溶結部が分布するメッシュの体積については、その 30%を溶結部とみなし、溶結度の情報（弱溶結 or 強溶結）に基づき、全量を一旦非溶結状態の体積に換算したうえで、非溶結部のみかけ密度を 1000 kg/m³、マグマ密度を 2500 kg/m³としてマグマ換算体積（DRE）を算出した。

2) 復元体積

復元体積の算出では、復元層厚分布作成時のメッシュサイズ（500 m, 1 km, 5 km）ごとに、メッシュ内の層厚を集計し、メッシュサイズを乗じて体積を算出した。なお、本調査における復元層厚分布は、全量を非溶結状態に換算してから作成しており、全量が非溶結とした場合の見かけ体積が求められるため、集計された見かけ体積について、みかけ密度を 1000 kg/m³、マグマ密度を 2500 kg/m³として DRE を算出した。

算出結果

上述の算出方法に従って算出した現存体積及び復元体積の一覧表を表に示す。

現存体積は、31.5 km³（DRE、見かけ：71.7 km³）と求められた。

復元体積は、復元分布の上面高度の作成に用いたメッシュサイズの大きさ（500 m, 1 km, 5 km）と標高データの採用値（最大、平均、最小）の組合せに応じて、120.9 km³DRE（見かけ：302.2 km³）～701.5 km³DRE（見かけ：1,753.5 km³）と大きなばらつきを有するが、メッシュ内の標高データに平均値を採用した場合では、メッシュサイズに対する依存性が小さく、207.0 km³DRE（見かけ：517.5 km³）～239.7 km³DRE（見かけ：599.2 km³）と求められた。また、メッシュ内の標高の最大値及び最小値から求めた体積は、メッシュサイズが大きくなるほど、平均値からの乖離が大きくなる傾向が認められ、最大値から求められた復元体積は、500 mメッシュで288.5 km³DRE（見かけ：721.2 km³）、1 kmメッシュで325.4 km³DRE（見かけ：813.6 km³）、5 kmメッシュで701.5 km³DRE（見かけ1753.5 km³）となった。

断面図に示された現存地形面と復元堆積面との関係（図1.5-26）に着目すると、標高データの平均値をもとに作成した復元堆積面は、メッシュサイズに関係なく、現存地形面の背面をなぞるように分布しており、入戸火砕流堆積物の堆積原面を最も適切に示している可能性が高い。

表1.5-13. 入戸火砕流堆積物体積一覧表

項 目		現存分布	復元分布								
メッシュサイズ		—	500m			1km			5km		
復元堆積面採用値		—	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小
分布面積 (km ²)		2.62E+09	1.99E+04	1.87E+04	1.73E+04	2.01E+04	1.85E+04	1.61E+04	2.15E+04	1.83E+04	1.49E+04
見かけ体積 (km ³)	全域	71.7 (見かけ) 78.8 (非溶結換算)	721.2	544.4	327.3	813.6	517.5	329.2	1,753.5	599.2	302.2
	カルデラ外		522.4	344.5	151.5	619.5	317.2	127.4	1,568.7	409.8	80.5
	カルデラ内		198.8	199.9	175.9	194.1	200.3	201.8	184.8	189.4	221.7
DRE(km ³)	全域	31.5	288.5	217.7	130.9	325.4	207.0	131.7	701.4	239.7	120.9
	カルデラ外		209.0	137.8	60.6	247.8	126.9	50.9	627.5	163.9	32.2
	カルデラ内		79.5	80.0	70.3	77.6	80.1	80.7	73.9	75.8	88.7

※火砕流堆積物の見かけ密度を1000kg/m³，マグマ換算体積を2500kg/m³で求めた。
(見かけ)は，非溶結，強溶結及び弱溶結を考慮した体積を示し，(非溶結換算)は全量を非溶結に換算した体積を示す。

従って，本調査で使用した復元分布図の作成手法では，入戸火砕流堆積物の体積として，200 km³～250 km³DRE (見かけ：500 km³～600 km³)が妥当であると評価できる．カルデラ外の火砕流堆積物は，130～170 km³DRE (見かけ:300～400 km³)，カルデラ内の火砕流堆積物は，75～80 km³DRE (見かけ:180～200 km³)であると評価できる．

(3) 毛馬内火砕流堆積物

入力データの整理，分布情報整理表の作成

収集した文献・資料から，先述した入戸火砕流堆積物と同様に，十和田平安噴火に伴う堆積物の点情報を抽出し，堆積物の上面及び下面高度とその情報の確度を分布情報整理表に整理するとともに GIS データ化した．また，平面分布情報についても GIS データ化した．

堆積物の区分

分布情報整理表では十和田平安噴火による堆積物のうち，広域テフラである十和田 a テフラを除く堆積物について，広井ほか（2015）（図 1.5-27）などの既往文献を参考に，表 1.5-1.5 の 7 区分で整理した．

現在の地形データの作成

点情報の位置情報からの標高値の取得や，後述するエネルギーコーン解析に供する基図として，現在の地形モデルを作成した（図 1.5-28）．地形モデルの作成には，陸域の地形データ（及び海域の水深データを使用し，前述した手順で作成した．

現存分布図の作成

整理したデータをもとに，毛馬内火砕流堆積物及びこれに関連するラハール堆積物の現存分布図を作成した．

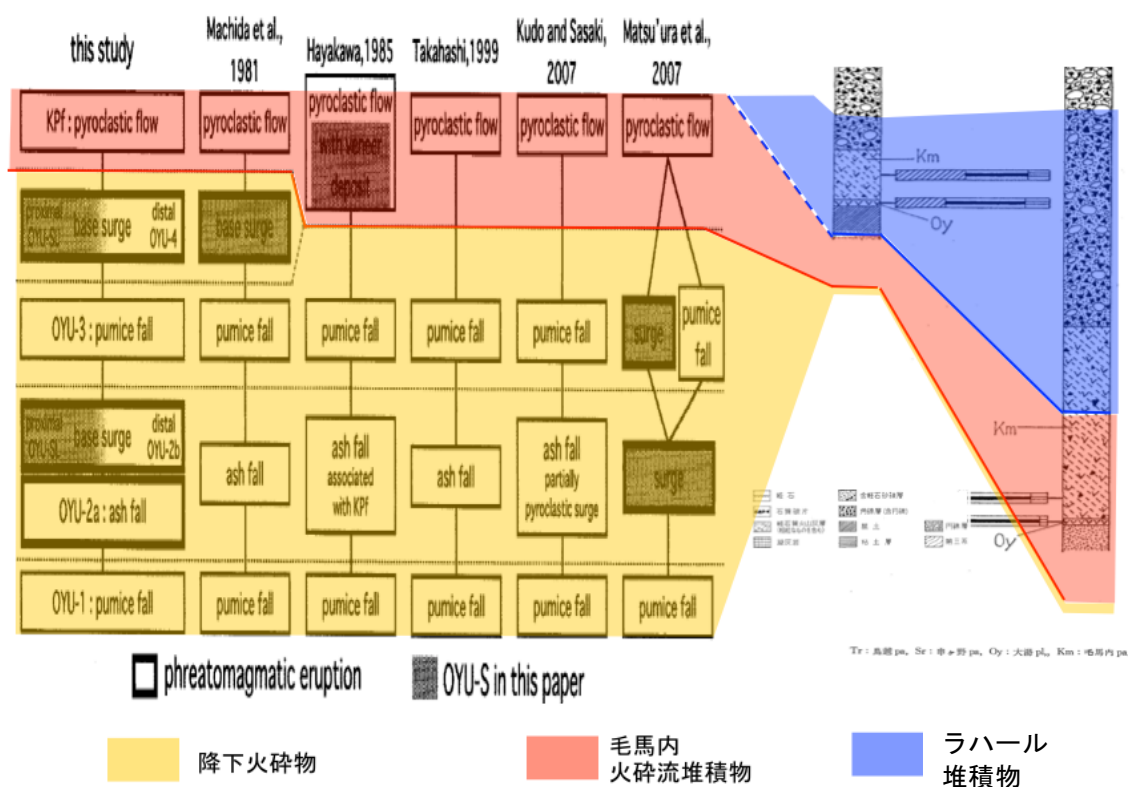


図 1.5-27. 十和田平安噴火による堆積物の区分（広井ほか，2015 に一部加筆）

表 1.5-1.5. 分布情報整理表における十和田平安噴火堆積物の区分

毛馬内火砕流堆積物		十和田平安噴火堆積物 (ユニット不明) 十和田 a テフラを含む
大湯火砕堆積物 (ユニット不明)	OYU-S	
	OYU-4	
	OYU-3	
	OYU-2	
	OYU-1	

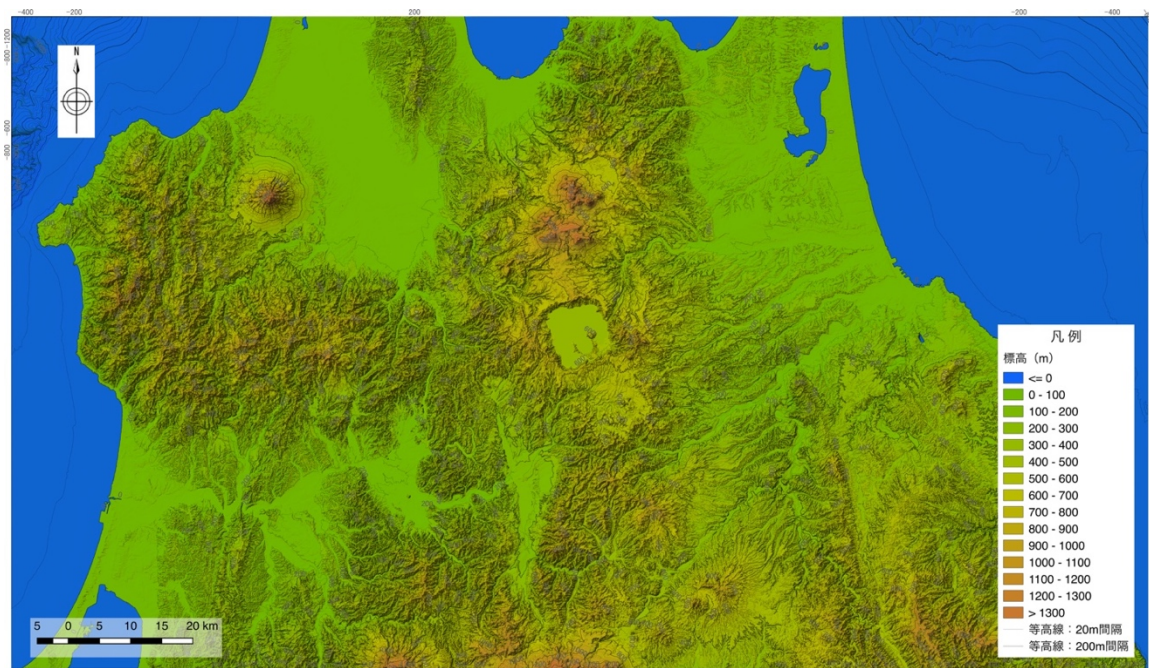


図 1.5-28. 現在の地形

毛馬内火砕流堆積物

文献・資料中に示されている毛馬内火砕流堆積物の分布域は給源周辺に限られるものがほとんどだったが、内藤（1966）、矢口（2016）のように、大湯川及び米代川沿いに流下した堆積物の分布が指摘されている例も見られた。

給源付近の分布については、文献図に示された分布域が、地質図に示された分布域内に概ね包含されるとともに、地質図に示された分布域の方がより詳細であった。このため、村岡・高倉(1998)、鎌田ほか（1991）、宝田ほか（2004）の3資料より毛馬内火砕流堆積物の分布域を抽出した。

一方、米代川沿いの分布については、既往知見の間で、火砕流堆積物とラハール堆積物の区分に関する見解の相違があった。そのため、検討の結果、矢口（2016）の地点3（図 1.5-29 参照）を境にして上流側を火砕流堆積物、下流側をラハール堆積物とすることとし、内藤(1966)に示された火砕流堆積物の分布域を抽出した。

ラハール堆積物

毛馬内火砕流に関連したラハール堆積物は、十和田カルデラ南西斜面を源流とする大湯川から米代川に沿って分布することが知られている（内藤，1966，1977；矢口，2016）。また、十和田カルデラ北西斜面を源流とする浅瀬石川や平川の下流域に広がる津軽平野にも同時期のラハール堆積物が分布するとされている（青森県埋蔵文化財調査センター編，2009；小野ほか，2009；小野ほか，2012）。

本調査では、毛馬内火砕流に関連したラハール堆積物の分布、体積等を検討するにあたり、これらの知見に基づきラハール堆積物の存在が指摘されている米代川流域と津軽平野を対象とした。

1) 米代川流域

米代川流域においては、内藤ほか（1966）によって、毛馬内火砕流堆積物で構成される地形面として中間段丘面（花輪盆地～十二所狭窄部）及び川口面（大館盆地付近）が定義され、ラハール堆積物で構成される地形面としては毛馬内面が定義されている（図 1.5-30，図 1.5-31 参照）。内藤ほか（1977）によれば、この毛馬内面は米代川河口部の能代平野にも認められる（図 1.5-32 参照）。

現存分布図の作成にあたり、検討の結果、花輪盆地の下流側に分布する毛馬内火砕流堆積物とされる堆積物は、文献中の層相記載等よりラハール堆積物と判断されるものとし、毛馬内火砕流堆積物は、花輪盆地の上流側の中間段丘面のみに分布するものとした。また、米代川沿いのラハール堆積物は花輪盆地の下流側の段丘面（上位より、中間段丘面，川口面，毛馬内面）に分布するものとした。

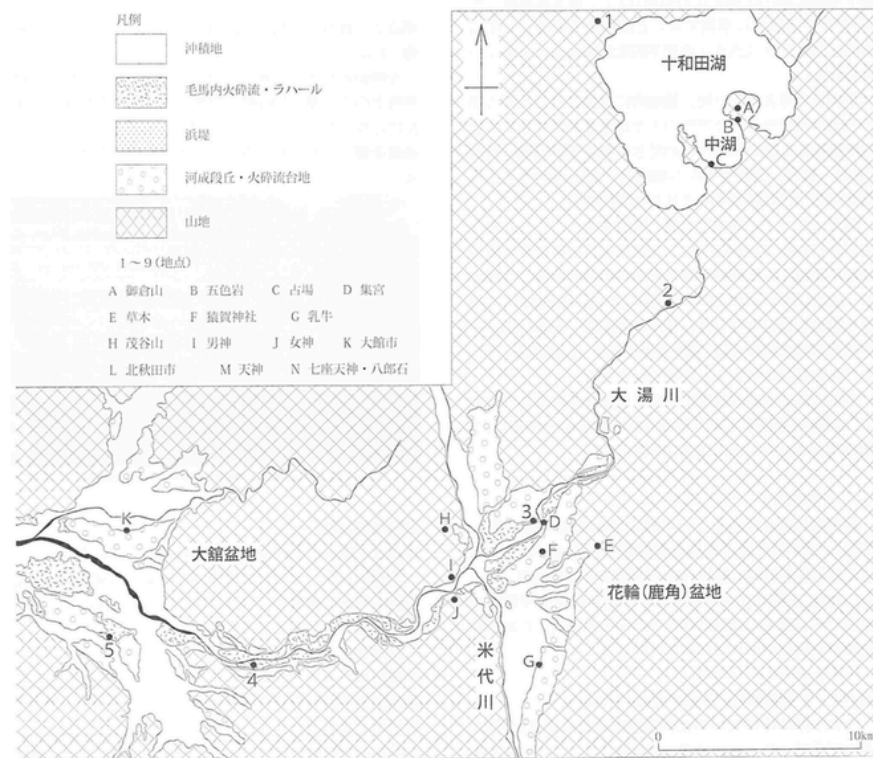


図 1.5-29. 花輪盆地周辺の毛馬内火砕流堆積物・ラハールの分布（矢口，2016）

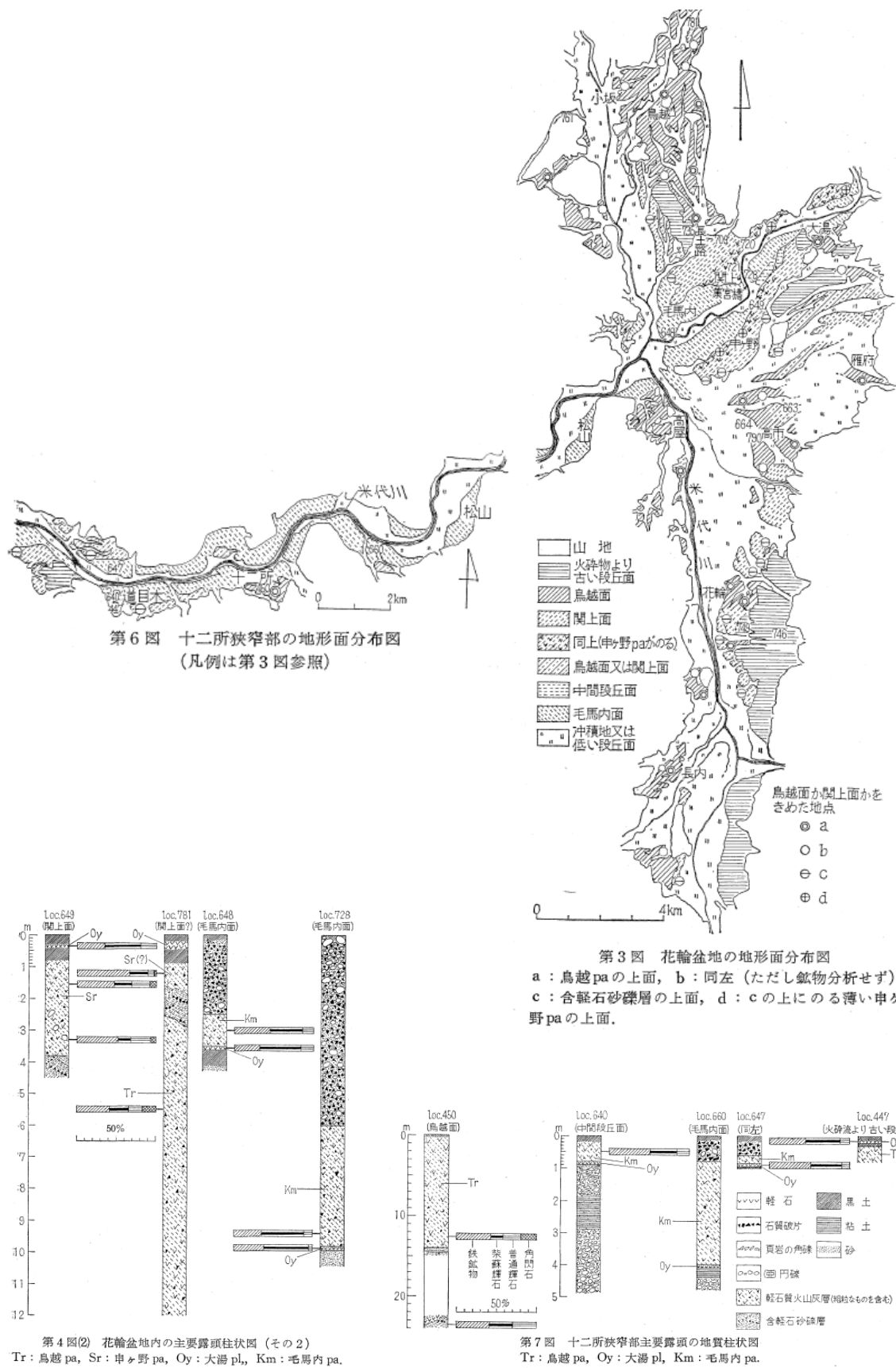
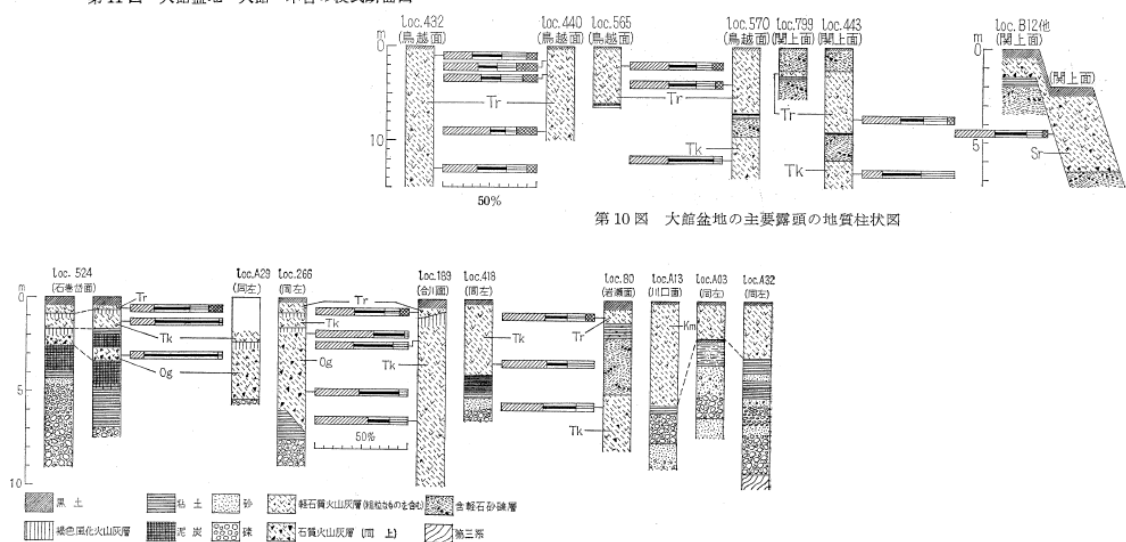
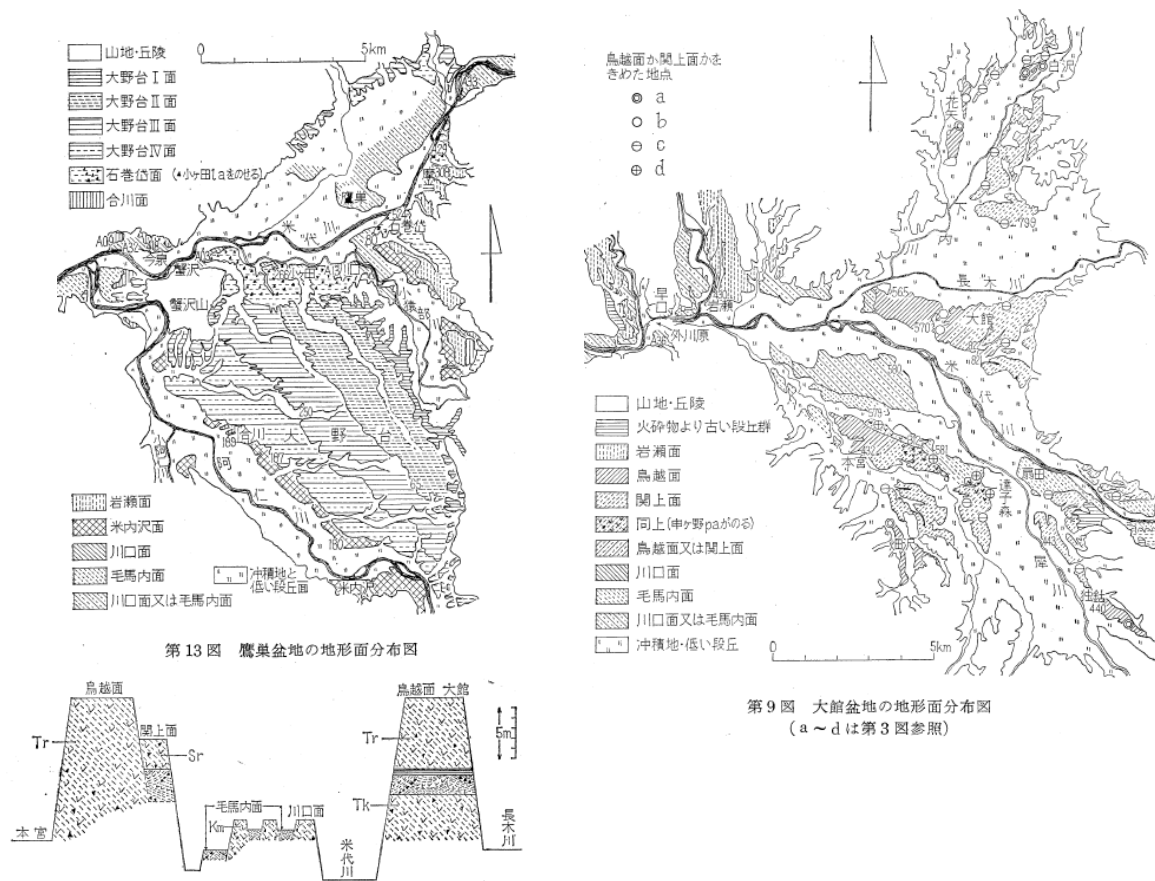


図1.5-30. 米代川沿いの段丘区分図（花輪盆地～十二所狭窄部）（内藤ほか，1966）



Og: 小ヶ田la, Tk: 高市pa, Tr: 鳥越pa, Km: 毛馬内pa, (重鉱物凡例は第4図参照)

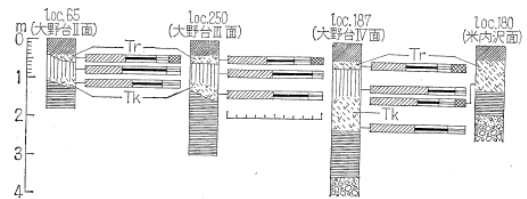


図 1.5-31. 米代川沿いの段丘区分図 (大館盆地～鷹巣盆地) (内藤ほか, 1966)

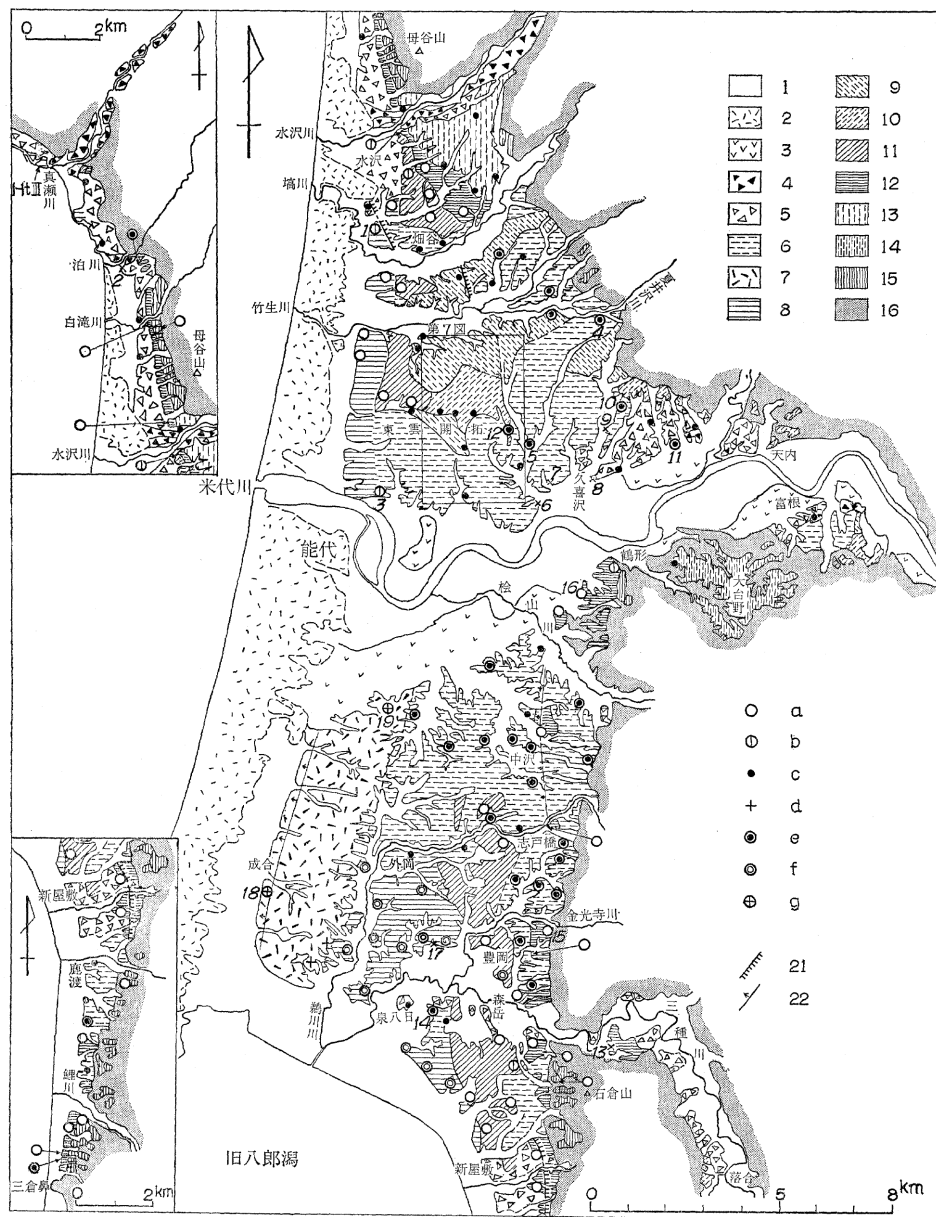


図 2 能代平野の段丘面分布図ならびに段丘堆積物の堆積環境分布図

凡例・[地形面区分] 1: 沖積低地, 2: 完新世の砂丘, 3: 毛馬内面 (脚注3参照), 4: 水沢Ⅱ面またはⅢ面, 5: 水沢Ⅰ面・久喜沢面または泉八日面, 6: 東雲Ⅲ面または中沢面, 7: 成合面, 8: 畑谷Ⅲ面または森岳Ⅲ面, 9: 東雲Ⅱ面, 10: 東雲Ⅰ面, 11: 畑谷Ⅱ面または森岳Ⅱ面, 12: 畑谷Ⅰ面または森岳Ⅰ面, 13: 大槻野面, 14: 大台野面, 15: 母谷面群または石倉面群, 16: 斜面 (山地・丘陵地または高位の段丘の)

[層相からみた段丘堆積物およびその他の上部更新統の堆積環境] a: 海成層, b: 海成～河成層, c: 河成層, d: 砂丘砂, e: 海成層の上に河成層, f: 海成層の上に潟湖成層, g: 海成層の上に砂丘砂. (c, dなどはその下の海成層が露頭ではみえない場合を含む).

[変動地形] 21: 低断層崖, 22: 撓曲崖. 図中の斜数字 1~19 は地点番号.

図 1.5-32. 能代平野における段丘区分図 (内藤ほか, 1977)

2) 津軽平野

津軽平野においては、前川遺跡（青森県埋蔵文化財調査センター，2009：小野ほか，2009）及び十三盛遺跡（小野ほか，2012）において、低湿地堆積物（有機質シルト等）を覆って、火山灰質の砂質シルト～砂層が記載され（図 1.5-33 参照），この堆積物中には十和田 a テフラ起源の火山ガラスが多く含まれることから（柴，2009；小野ほか，2012），十和田火山平安噴火によって生じたと考えられるラハール堆積物と考えられる。

小野ほか（2009）によれば，前川遺跡周辺の浅瀬石川扇状地を構成する F・III 面上の縁辺部に発達する自然堤防は，浅瀬石川に沿って連続的に分布することから（図 1.5-34，図 1.5-35 参照），浅瀬石川の洪水氾濫によって同時期に形成されたものと考えられ，その形成年代は弥生時代以降とされている。また，この急激な土砂供給の要因として，十和田火山平安噴火による影響の可能性を示唆している。

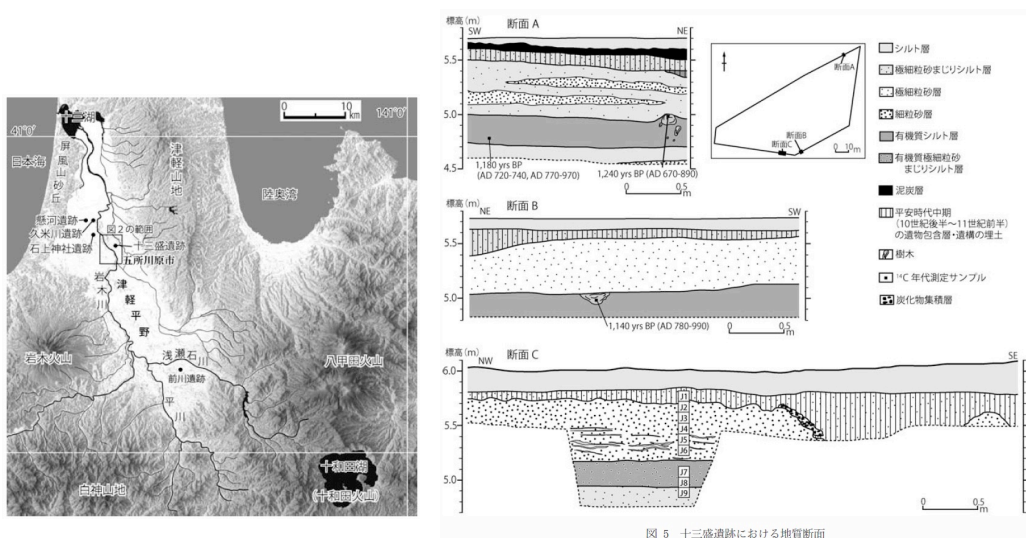


図 5 十三盛遺跡における地質断面

図 1.5-33. 津軽平野の遺跡分布及び十三盛遺跡で確認された地質状況（小野ほか，2012）

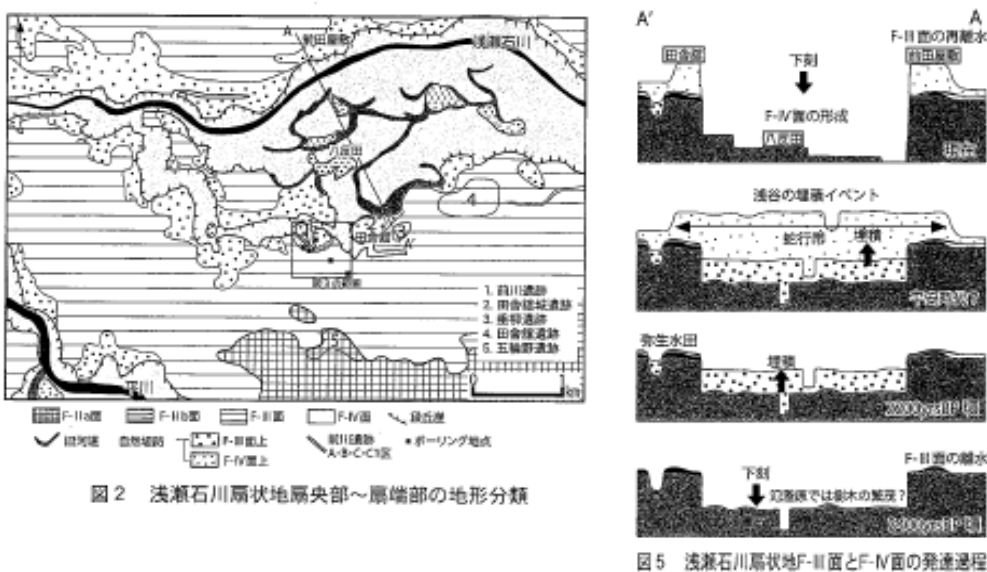


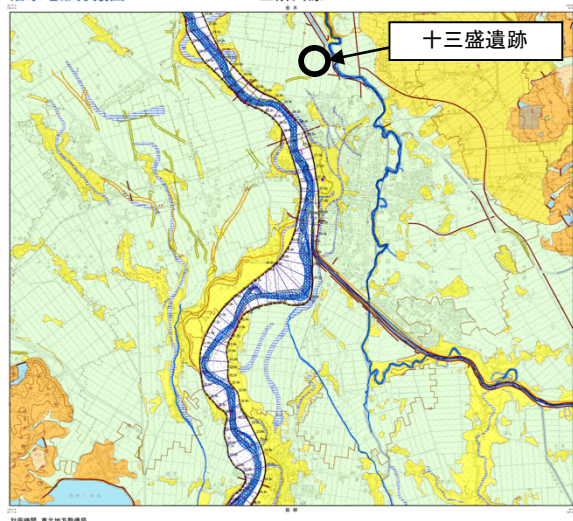
図 2 浅瀬石川扇状地扇中央部～扇端部の地形分類

図 5 浅瀬石川扇状地 F-III 面と F-IV 面の発達過程

図 1.5-34. 浅瀬石川扇状地の地形分類図及び地形発達過程（小野ほか，2009）

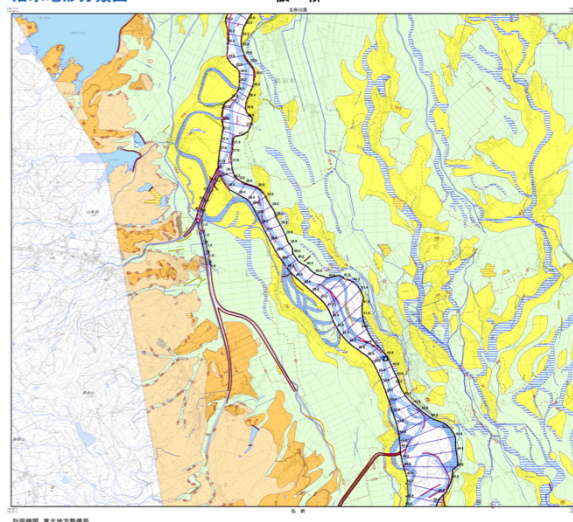
治水地形分類図

五所川原



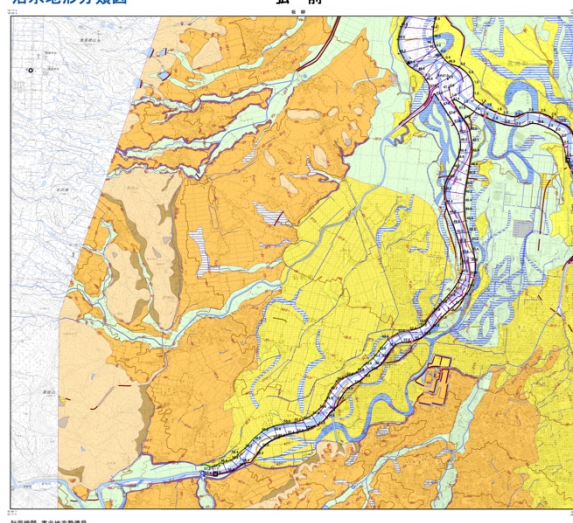
治水地形分類図

板柳



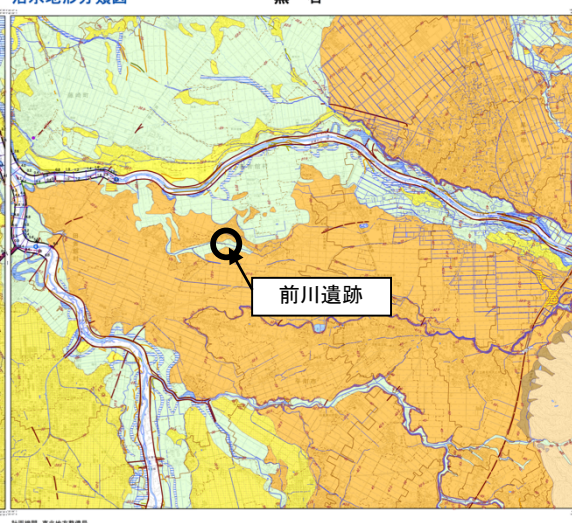
治水地形分類図

弘前



治水地形分類図

黒石



凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地	台地・段丘		段丘面	
			崖(段丘崖)	
			浅い谷	
低地	山麓堆積地形		扇状地	
			氾濫平野	
			氾濫平野	
			後背湿地	
			扇状地	
			氾濫平野	
			微高地(自然堤防)	
			旧河道	
人工改変地形			旧河道(明瞭)	
			旧河道(不明瞭)	
			落堀	
			砂州・砂丘	
			干拓地	
			盛土地・埋立地	
			切土地	
			連続盛土	
その他の地形等			天井川の区間	
			視河道・水面	
			旧流路	
			S.30年代後半～S.40年代前半	
			S.20年代	
			T.末期～S.初期	
			M.末期～T.初期	
			主曲線	
			補助曲線	
			旧堤防	
			旧堤防	
			S.30年代後半～S.40年代前半	
河川管理施設等			S.20年代	
			T.末期～S.初期	
			M.末期～T.初期	
			堤防	
			完成堤防	
			暫定堤防	
			暫々定堤防	
			護岸	
			河川工作物	
			水位観測所	
			流量観測所	
			水質観測所	
			雨量観測所	
			樋門・樋管	
			水門・開門	
			揚排水機場	
			事務所・出張所	
			事務所	
			出張所	
			距離標	
			測線	

図 1.5-35. 津軽平野の地形分類図 (十三盛遺跡～前川遺跡にかけての地域)

(国土地理院治水地形分類図 : http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html)

現存分布図の作成

前述に示した、毛馬内火砕流堆積物及びこれに関連したラハール堆積物の分布情報に基づき作成した現存分布図を図1.5-36に示す。

現存分布図には、毛馬内火砕流堆積物とラハール堆積物の分布域を図示するとともに、ボーリング、露頭情報及び未公表データによる確認地点を層厚データとともに示した。

なお、米代川沿いのラハール堆積物の図示にあたっては、毛馬内面とともに、同様にラハール堆積物で構成される中間段丘面及び川口面を一括して図示するとともに、これらの層厚データも一括した（中間段丘及び川口面はごく狭い地域にしか分布しない）。また、津軽平野においては、小野ほか（2009）によって示された、前川遺跡周辺の浅瀬石川及び平川沿いの段丘化した氾濫原上に載る自然堤防（十和田平安噴火と同時期に氾濫・堆積した堆積物の可能性）と連続する地形に限定して抽出した。

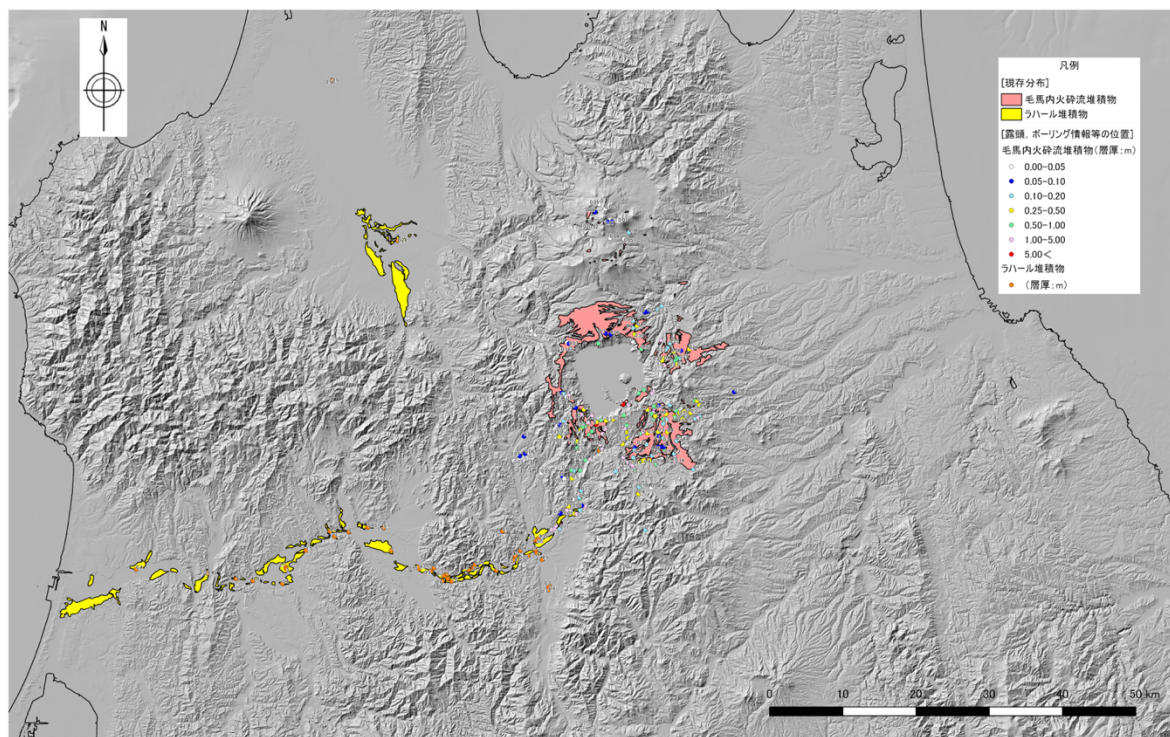


図 1.5-36. 毛馬内火砕流堆積物及びラハール堆積物の現存分布図

到達可能性範囲（到達限界）の検討（エナジーコーン解析）

毛馬内火砕流の到達可能性範囲を推定することを目的として、エナジーコーン解析を実施した。エナジーコーン解析においては、地形的な障害を考慮しない場合（以下、回り込みを考慮した場合と呼称）と、地形的な障害を考慮した場合（以下、回り込みを考慮しない場合と呼称）で、それぞれ到達可能性範囲を設定した。また、作成した毛馬内火砕流堆積物の現存分布図（図1.5-36）より、複数点のコントロールポイントを設定し、方向ごと適切な噴煙柱崩壊高度（ H_c ）及び等価摩擦係数（ H/L ）を設定した（表1.5-15）。

エナジーコーン解析に基づいて設定した到達限界、及び設定した①～⑫の12カ所のコントロールポイント（以下、CPと呼称）を図1.5-37に示す。また、各CPの位置付けを以下に列挙する。

a. 到達可能性範囲の末端とする地点

該当CP：①，②，③，④，⑤，⑥，⑦

b. 周辺が到達可能性範囲内に完全に含まれる地点

該当CP：⑧，⑨，⑩

c. 到達可能性範囲外の地点

該当CP：⑪，⑫

下記の点については、検討の上定めた。

【CP⑥】

矢口（2016）による、秋田県鹿角市大河原の花輪盆地内に分布する火砕流露頭を到達可能性範囲の末端付近とする。

【CP⑨と⑩】

下岳及び横岳の西～北西麓、並びに葛温泉東方を到達可能性範囲内に含める。

【CP⑫】

北八甲田火山群山頂を到達可能性範囲内に含めない。

表1.5-15 方位角度毎の H/L と噴煙柱崩壊高度

区分(度)※			H/L	噴煙柱崩壊高度(m)
0	～	16	0.1	1600
17	～	59	0.09	1500
79	～	99	0.09	2900
112	～	130	0.09	2500
150	～	168	0.1	1600
168	～	192	0.09	1600
194	～	240	0.1	1600
242	～	263	0.1	1850
263	～	297	0.09	1850
297	～	318	0.09	1600
320	～	360	0.1	1600

※ 給源(中湖 X:491603, Y:4477037, Z:400)から真東を0度とし、反時計回りに設定した。

注) H/L 及び噴煙柱崩壊高度の変換点については、回り込みありの場合はそれぞれのパラメータを漸移的に変化させ、回り込みなしの場合では、回り込みありの解析結果を参考に手書きで描画した。

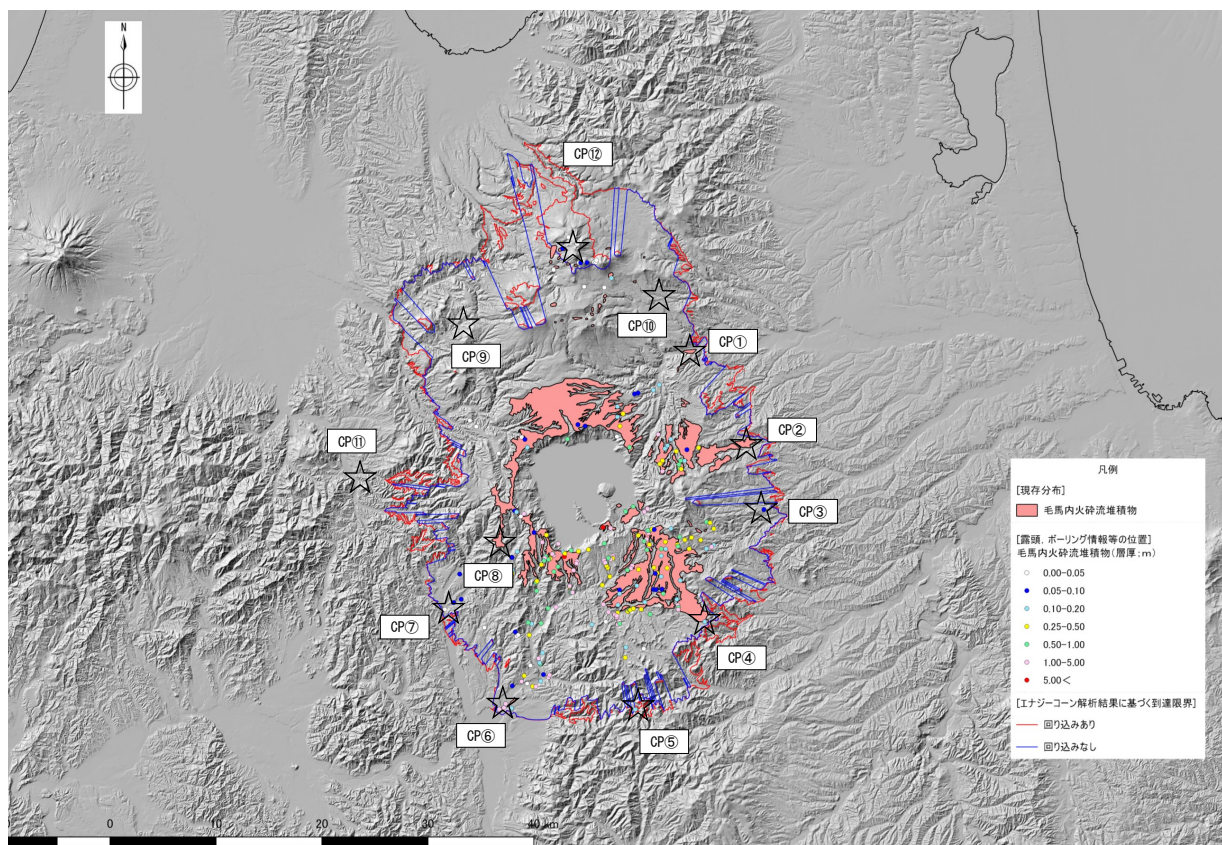


図 1.5-37. 毛馬内火砕流の到達可能性範囲

復元分布図の作成

現存分布図（図1.5-36），並びに毛馬内火砕流の到達可能性範囲（到達限界；図1.5-37）をもとに，毛馬内火砕流堆積物及びこれに関連するラハール堆積物の復元分布図を作成した．また，十和田平安噴火の給源火口とされる中湖から米代川沿い（南西方向）と，中湖から八甲田方向（北方向）への断面線を設定し，毛馬内火砕流とラハール堆積物の現存及び復元分布を示す断面図を作成した．

毛馬内火砕流堆積物

毛馬内火砕流堆積物の復元分布域は，エネルギーコーンによる到達可能性範囲を踏襲し，体積を算出するための復元層厚分布について検討した．

復元層厚分布は，分布情報整理表のそれぞれの層厚情報，及び到達可能性範囲から復元した．具体的には，点情報として得られた層厚を，回り込みを考慮した場合と考慮しない場合の2通りの到達可能性範囲について，その外縁で層厚が0 mとなるように補間し，復元層厚分布とした．作成手順をフローとして図1.5-38に示す．

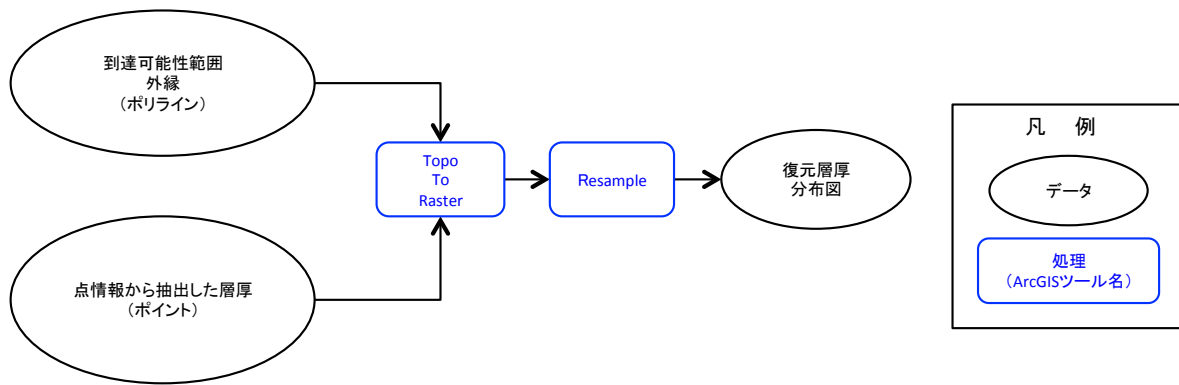


図 1.5-38. 復元層厚分布図の作成フロー

ラハール堆積物

ラハール堆積物の復元域，すなわちラハール流下直後の堆積範囲の推定にあたっては，以下の考え方で想定した．

1) 米代川流域

米代川流域については，ラハール堆積物に構成される毛馬内面（一部の間段丘面及び川口面）の浸食谷を埋積するとともに，毛馬内面背後の山地もしくはより高位の地形面脚部を境界として囲む範囲を復元域と推定した．なお，花輪盆地等では，復元域が盆地周辺から広がる扇状地等に覆われる様相を呈するが，周辺の地形状況より復元域を推定した．また，復元域の下流端は現海岸線とした．

2) 津軽平野

津軽平野については，ラハール堆積物の可能性が指摘される前川遺跡周辺に分布する自然堤防と自然堤防が載る段丘化した氾濫原に囲まれる範囲が復元域に相当するものとして，これらの地形の組合せに着目した．

前川遺跡から十三盛遺跡にかけての沖積低地上の微地形について，国土地理院「治水地形分類図」及び海津（1976）をもとに追跡したところ，復元域は，海津（1976）の「Upper alluvial surface (natural levee)」と「Upper alluvial surface (back marsh)」の範囲に相当すると考えられる．

図 1.5-39 参照）．

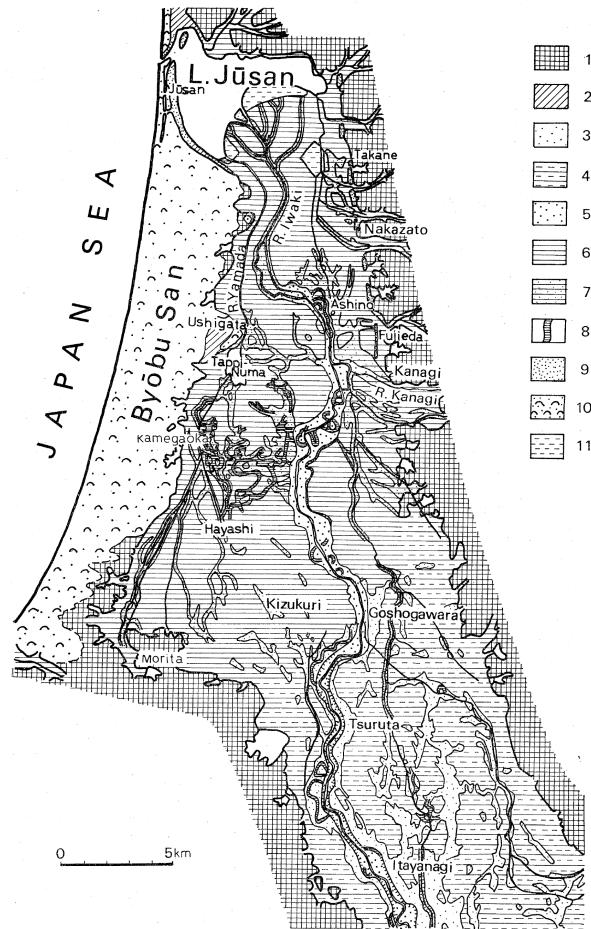


図 1.5-39. 弘前平野の沖積低地の地形分類図（海津，1976）

復元分布図の作成

十和田カルデラの中湖を起点として、八甲田方向への断面線（断面線A）と、米代川沿いの断面線（断面線B）の2本の断面線を設定した（図1.5-40参照）。前述の考え方にに基づき作成した毛馬内火砕流堆積物とラハール堆積物の復元分布図（層厚分布図）を図1.5-41a, bに示す。また、中湖から八甲田方向への断面図を図1.5-42a, b、中湖から米代川沿いの断面図を図1.5-43a, bに示す。

なお、津軽平野におけるラハール堆積物の復元分布の下流端については、検討の上、海津（1976）の「Upper alluvial surface (back marsh)」より下流に位置する十三盛遺跡を含むように復元域を設定した。

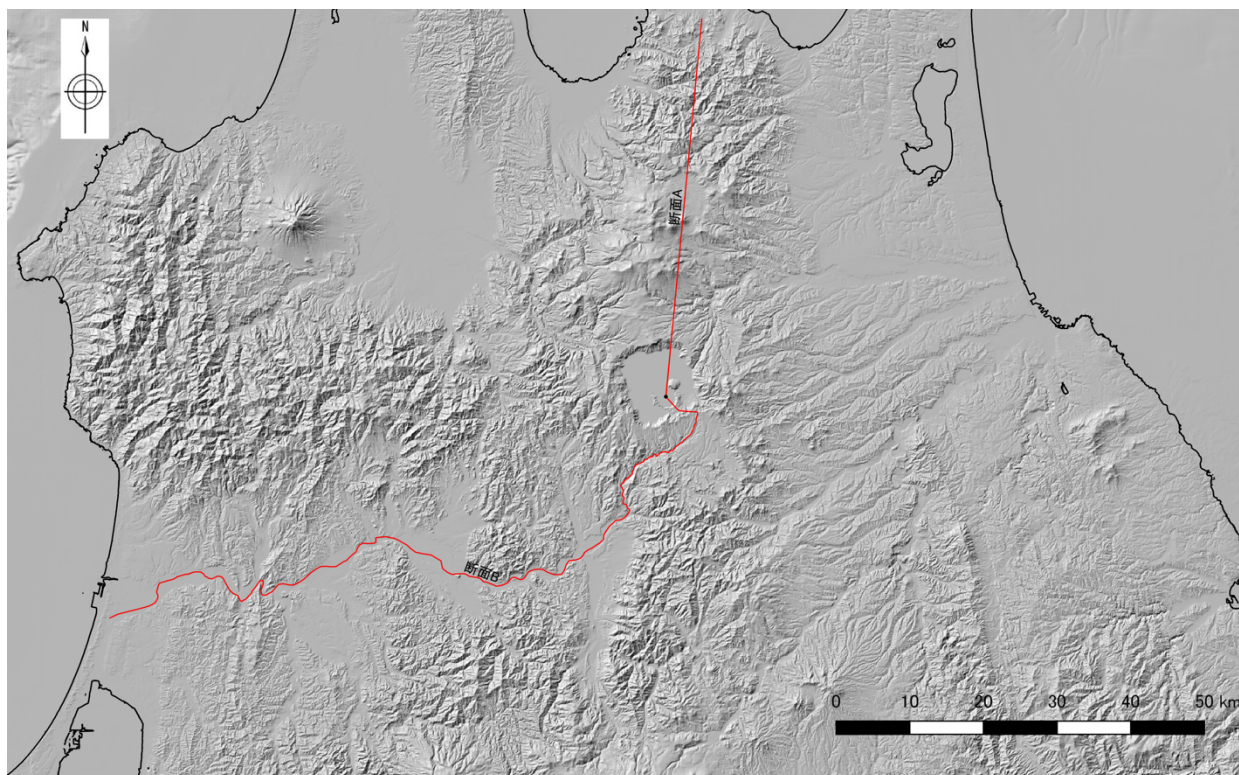


図 1.5-40. 断面線位置図（毛馬内火砕流堆積物・ラハール）

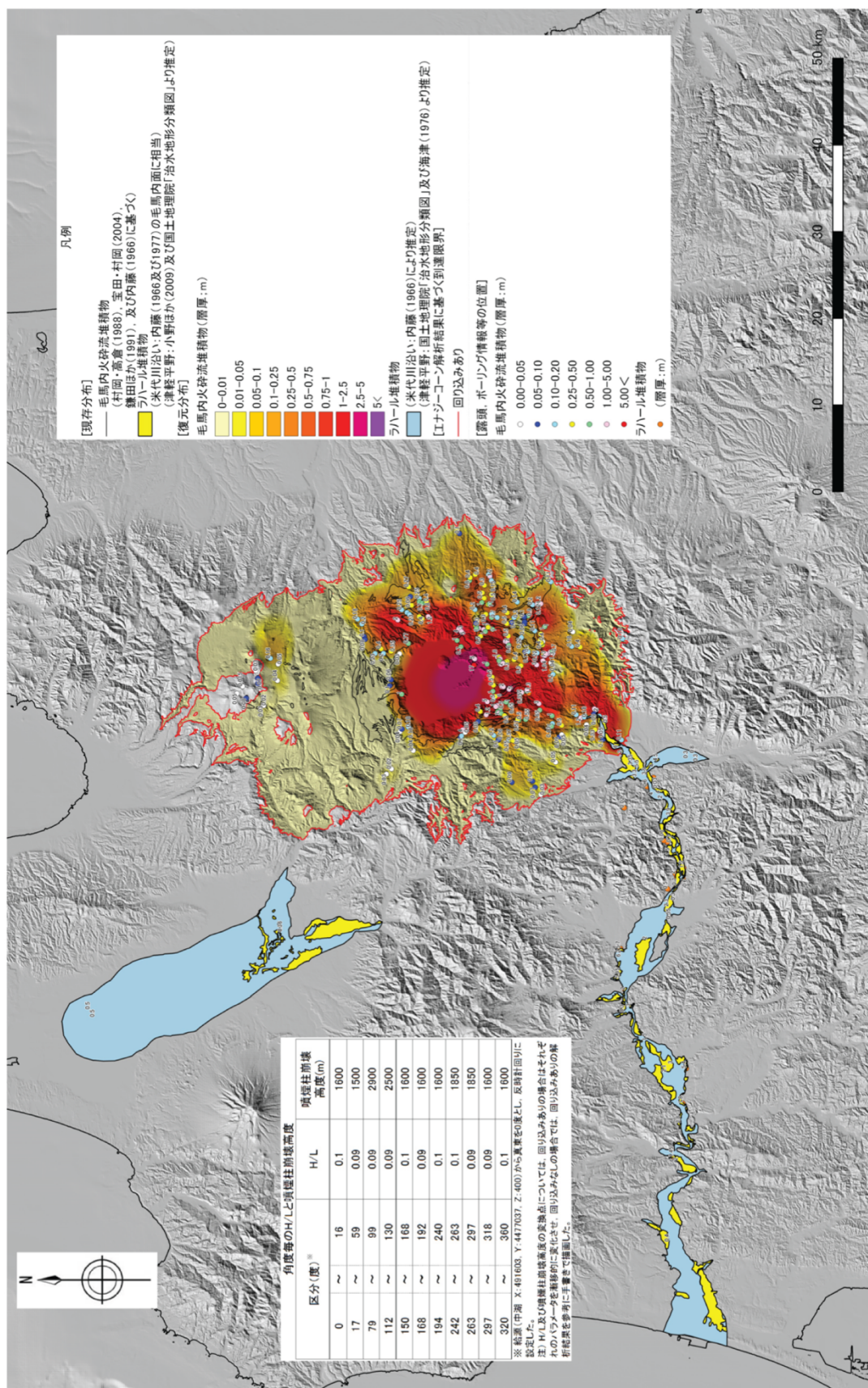


図 1.5-41a. 毛馬内火砕流堆積物及びラハール堆積物の復元分布図(エネルギーコーン解析による回り込み考慮)

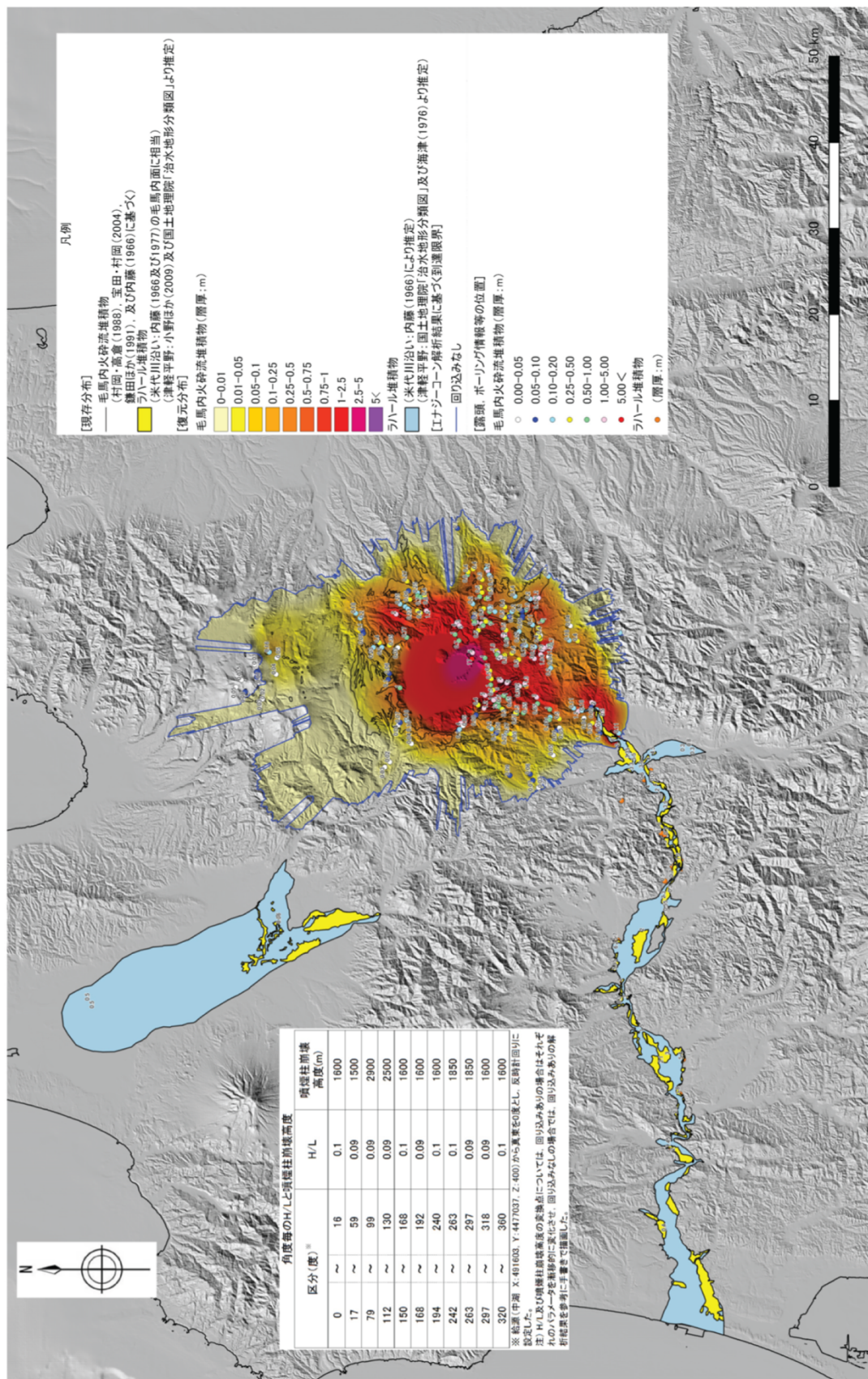


図 1.5-41b. 毛馬内火砕流堆積物及びラハール堆積物の復元分布図(エナジーコーン解析による回り込み考慮なし)

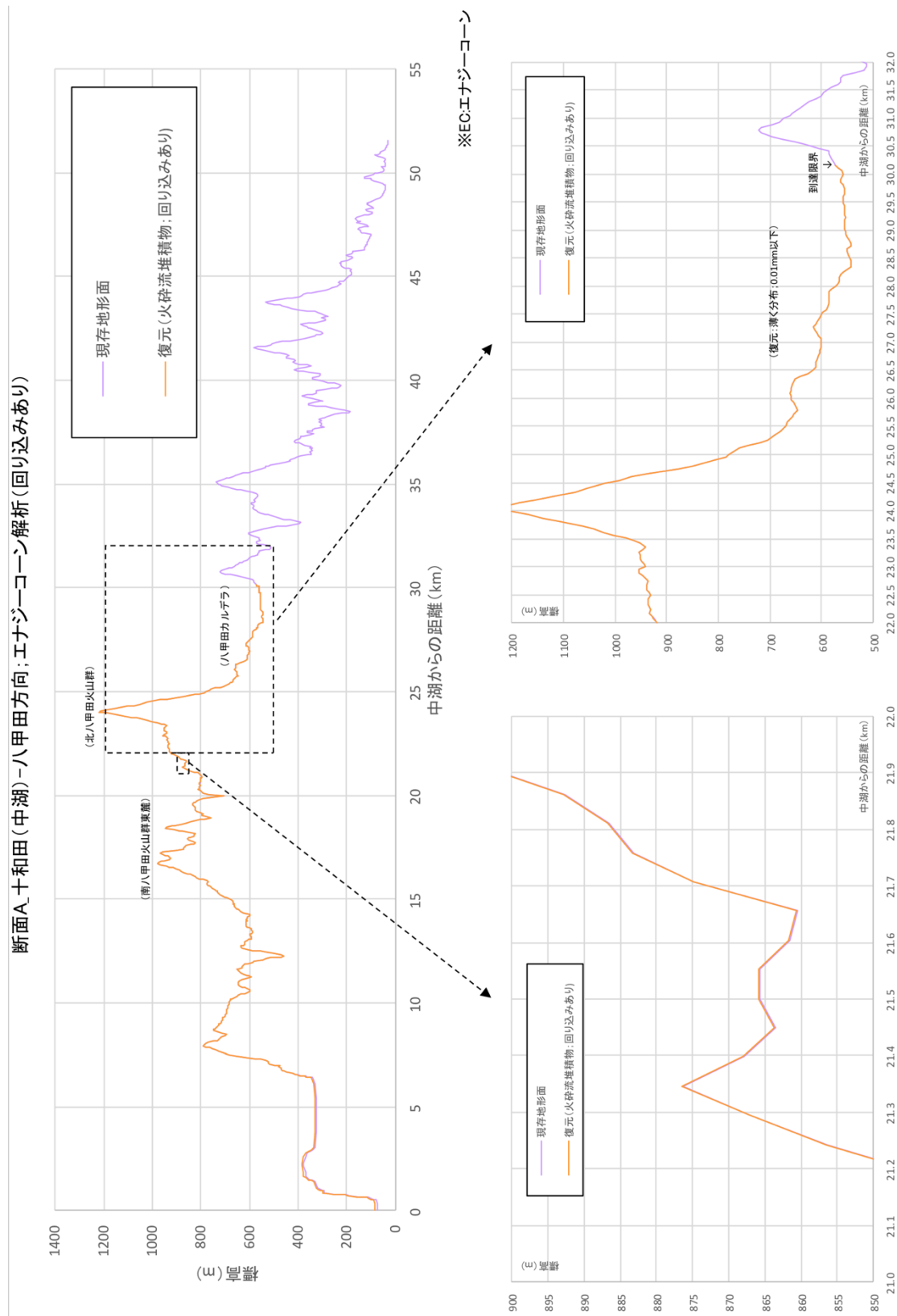


図 1.5-42a. 断面 A (十和田 (中湖) - 八甲田方向の断面図: 回り込みあり)

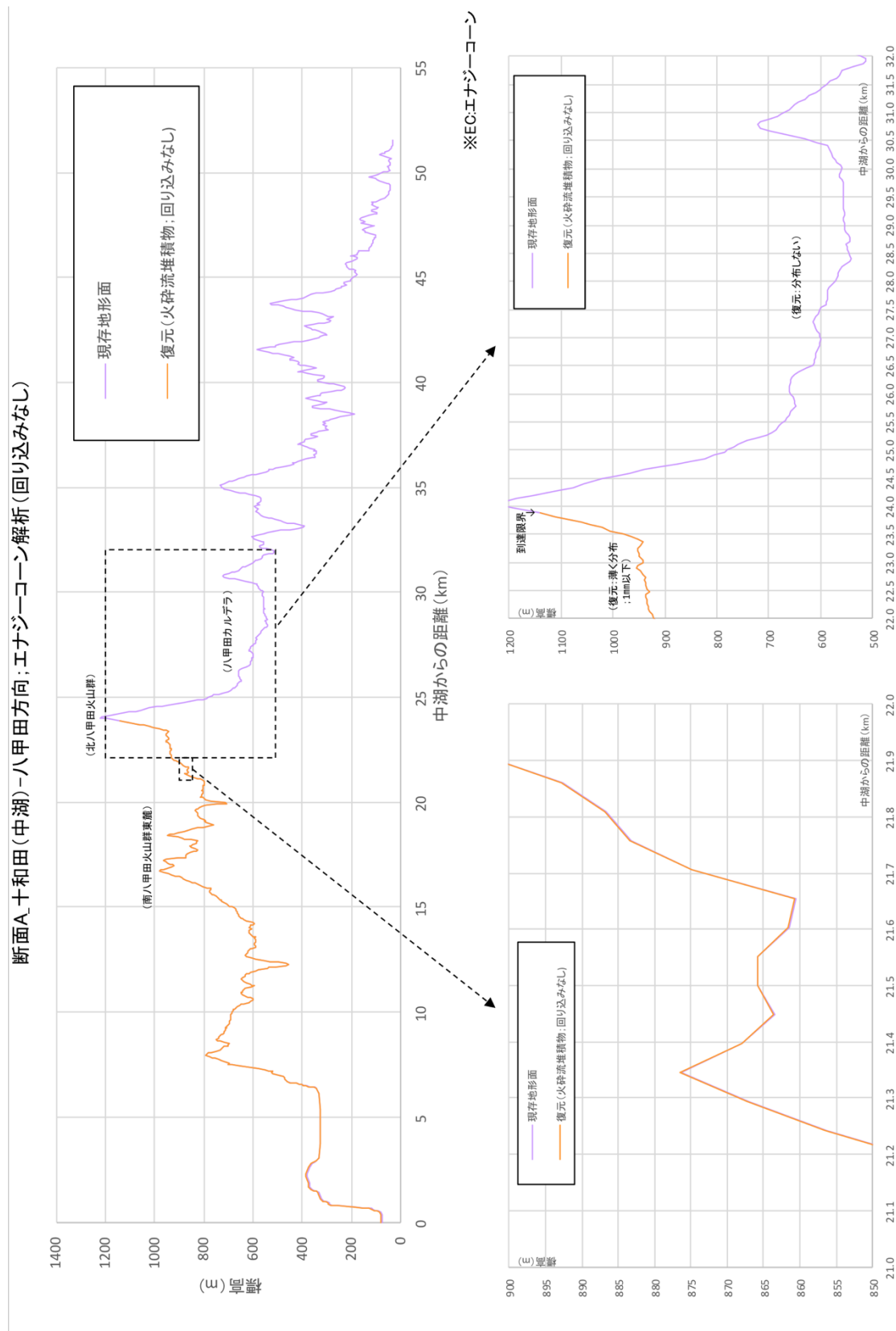


図 1.5-42b. 断面 A (十和田 (中湖)ー八甲田方向の断面図: 回り込みなし)

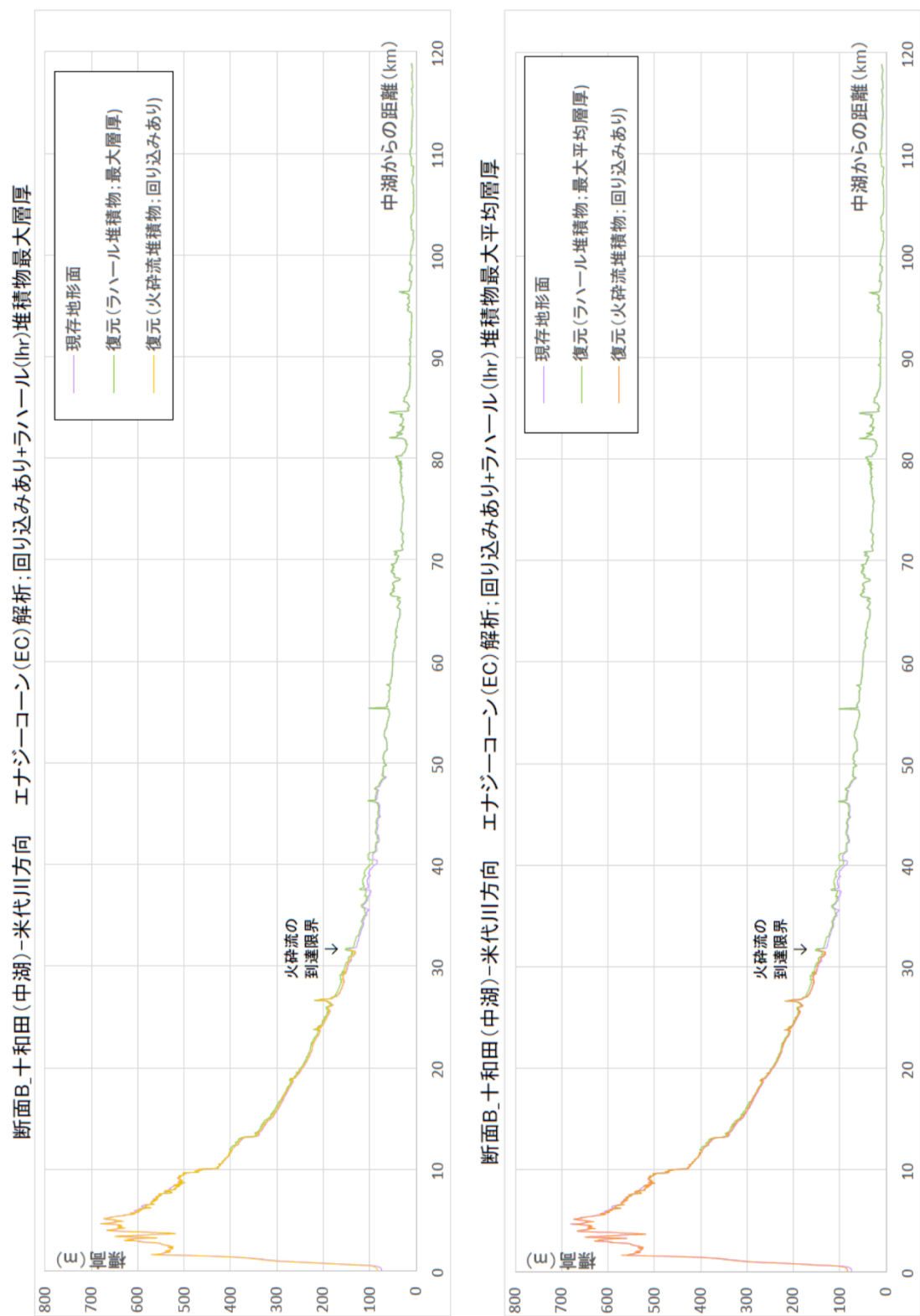


図 1.5-43a. 断面 B (十和田 (中湖) - 米代川方向 : 回り込みあり)

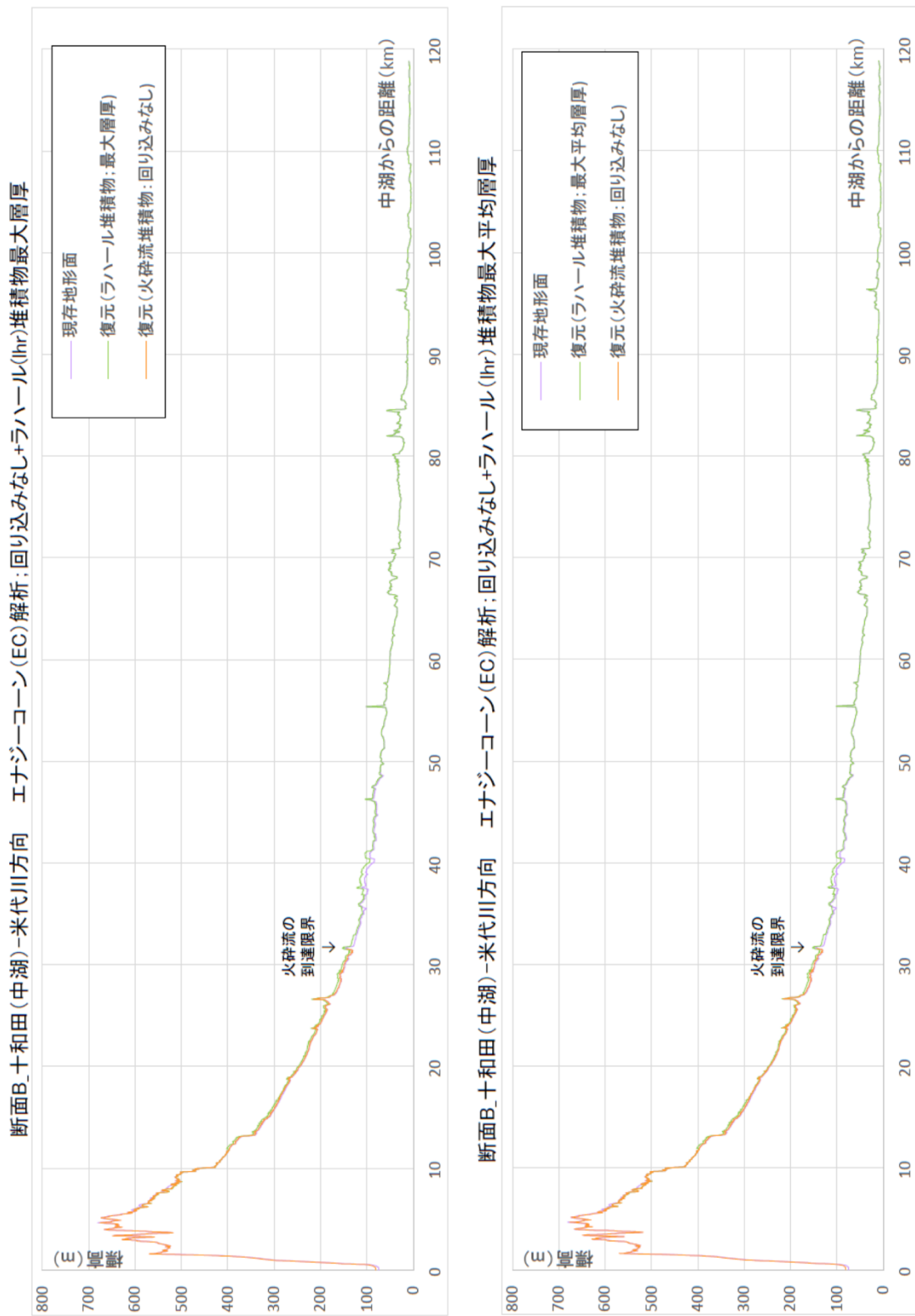


図 1.5-43b. 断面 B (十和田 (中湖) -米代川方向 : 回り込みなし)

体積の算出

毛馬内火砕流堆積物

毛馬内火砕流堆積物の復元層厚分布と現存分布図を図1.5-44に示し、現存体積及び復元体積の算出方法を以下に述べるとともに、算出結果を一覧表とし表1.5-16及び表1.5-17に示す。

1)現存体積

本調査では、図 1.5-41 で示した到達限界線内の復元層厚分布に対して、現存分布図に示した毛馬内火砕流堆積物の分布域と重複する範囲の体積を「現存体積」として扱った。

体積の算出に際しては、到達限界線（層厚 0 m）と文献情報等に基づく層厚データから補間処理して得られた層厚分布から 10 mメッシュの層厚分布データを作成した。このデータから、500 m グリッドに区分した毛馬内火砕流堆積物の現存分布域について、各グリッドに含まれる層厚とメッシュサイズを乗じることにより、グリッドごとの体積を算出したうえで、全グリッドの体積を合算し現存体積を算出した。

毛馬内火砕流堆積物の現存体積は約 0.06 km³（約 0.055 km³）（エナジーコーン解析による回り込み考慮あり）及び約 0.06 km³（約 0.058 km³）（エナジーコーン解析による回り込み考慮なし）であり、マグマ換算体積として約 0.02 km³DRE と求められた。

2)復元体積

本調査では、到達限界線内の復元層厚分布から求めた体積を「復元体積」として扱った。ただし、到達限界線内の層厚分布は、現存の堆積物から推定したものであることから、火砕流の堆積直後の体積を示すものではないことに留意する必要がある。

体積の算出方法は、前述 1) の層厚データより、500 m グリッドに区分した毛馬内火砕流堆積物の復元分布域について、各グリッドに含まれる層厚とメッシュサイズを乗じることにより、復元体積を算出した。

毛馬内火砕流堆積物の復元体積は約 0.65 km³（エナジーコーン解析による回り込み考慮あり）及び約 0.56 km³（エナジーコーン解析による回り込み考慮なし）であり、マグマ換算体積として、それぞれ 0.23 km³DRE 及び 0.20 km³DRE と求められた。

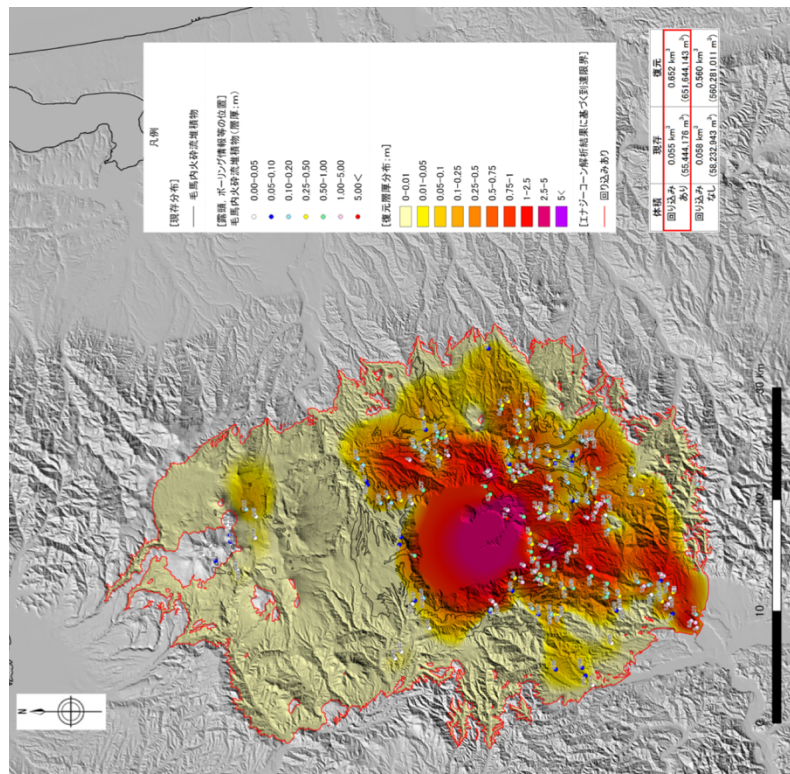
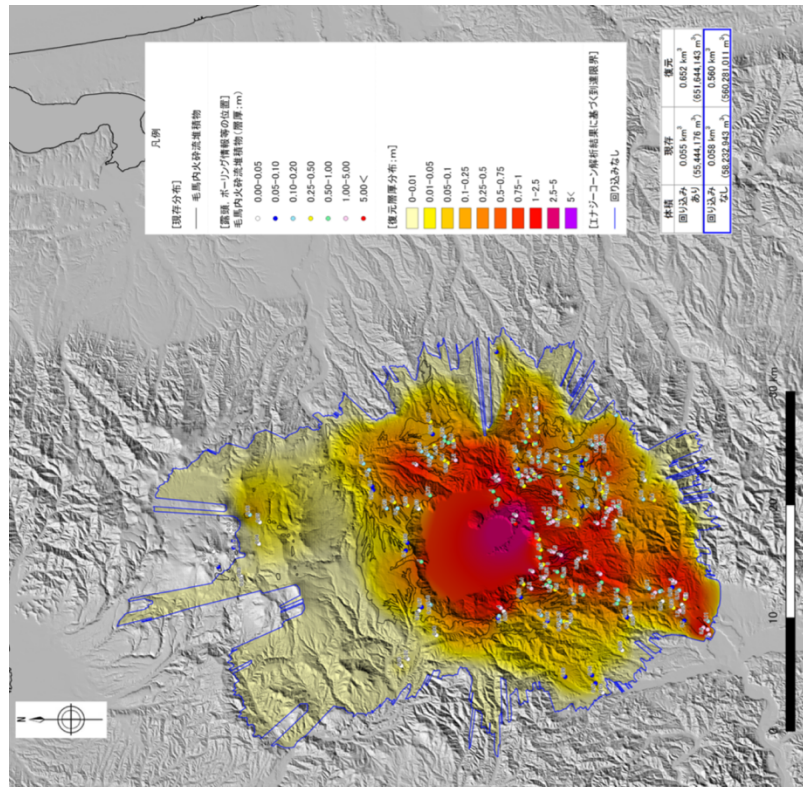


図 1.5-44. 毛馬内火砕流堆積物の復元層厚分布と現存分布図（左：エナジーコーン解析による回り込み考慮あり，右：エナジーコーン解析による回り込み考慮なし）

表1.5-16. 毛馬内火砕流堆積物の現存・復元体積の算出結果

算出区分		面積 (m ²) (参考)		層厚合計値 ①		体積 (m ³)		体積 :DRE (m ³)		備考
						① × (10m × 10m)		① × (10m × 10m)		
現存域	回り込み 考慮あり	118.13	E+06	0.55	E+06	55.44	E+06	19.96	E+06	・ 現存域：文献で示された毛馬内火砕流堆積物の分布範囲 (村岡・高倉 (1988), 宝田ほか (2004), 鎌田ほか (1991), 及び内藤 (1966)) をもとに作成 ・ 復元域：エナジーコーン解析(回り込みを考慮あり・なし) を用いて到達領域及び到達限界線を設定 ・ 体積：各領域において、文献情報等に基づく層厚データ から補間処理して得られた層厚分布より、10mメッシュ 毎に層厚情報を抽出した上で、その合計値にメッシュ 面積 (10m×10m) を乗じて算出 ※マグマ換算体積 (DRE) の算出には、 マグマ密度：2.5g/cm ³ (一般値) , 毛馬内火砕流堆積物のみかけ密度：0.9g/cm ³ (Hayakawa (1985) に基づく) を用いた。
		現存体積 (km ³)		0.055		0.02				
	回り込み 考慮なし	118.13	E+06	0.58	E+06	58.23	E+06	20.96	E+06	
		現存体積 (km ³)		0.058		0.02				
復元域	回り込み 考慮あり	1,258.40	E+06	6.52	E+06	651.64	E+06	234.59	E+06	
		復元体積 (km ³)		0.65		0.23				
	回り込み 考慮なし	1,120.09	E+06	5.60	E+06	560.28	E+06	201.70	E+06	
		復元体積 (km ³)		0.56		0.20				

ラハール堆積物

米代川流域及び津軽平野に分布するラハール堆積物の現存及び復元分布図を図1.5-45及び図1.5-46に示す。また、下記に示す方法で求めた現存体積及び復元体積を表1.5-17に示す。

1) 現存体積 (津軽平野)

小野ほか (2009) によって示された、前川遺跡周辺の浅瀬石川及び平川沿いの段丘化した氾濫原上に載る自然堤防 (十和田平安噴火と同時期に氾濫・堆積した堆積物の可能性) と連続する地形の分布域に対して、前川遺跡において十和田平安噴火による噴出物の二次堆積物 (水性堆積：ラハール堆積物に相当) とされる第BⅢ層の層厚 24 cm (最小) ～36 cm (最大) を乗じて推定した。その結果、津軽平野に現存するラハール堆積物の現存体積は約 0.01 km³ (約 0.005 km³～約 0.008 km³) と求められた。

2) 復元体積

ラハール堆積物の復元域の面積にその層厚を乗じることによって復元体積を算出した。

米代川は、花輪盆地、鷹巣盆地及び大館盆地とこれらを繋ぐ狭窄部を流下しながら能代平野を経て日本海に達する。そこで、流路沿いの地形的特徴が異なることを考慮し、流路区間 (sec.) を上流から 1～9 と区分し (図 1.5-45 参照)、それぞれについて復元域の面積を求めた。これに加え、ラハールの流下直後の堆積状況を想定するという観点から、区間内における現存層厚の最大値と最大平均 (上位数データの平均値) 設定し、先に算出した面積を乗じてそれぞれ用いて区間内の体積を求め、それらの合計値をラハール堆積物の復元体積として推定した。その結果、米代川流域のラハール堆積物の復元体積は約 0.59 km³～約 0.69 km³ と求められた。

一方、津軽平野については、前川遺跡周辺から十三盛遺跡にかけて広がる復元域の面積に対して、前川遺跡及び十三盛遺跡で確認される十和田平安噴火による噴出物の二次堆積物 (ラハール堆積物に相当) の層厚 (最小 24 cm～最大 55 cm) を乗じて推定した。その結果、津軽平野に現存するラハール堆積物の復元体積は約 0.07 km³～約 0.15 km³ と求められた。

以上の結果、米代川及び津軽平野に流下・堆積したラハール堆積物の復元体積は最大約 0.84 km³ と推定される。

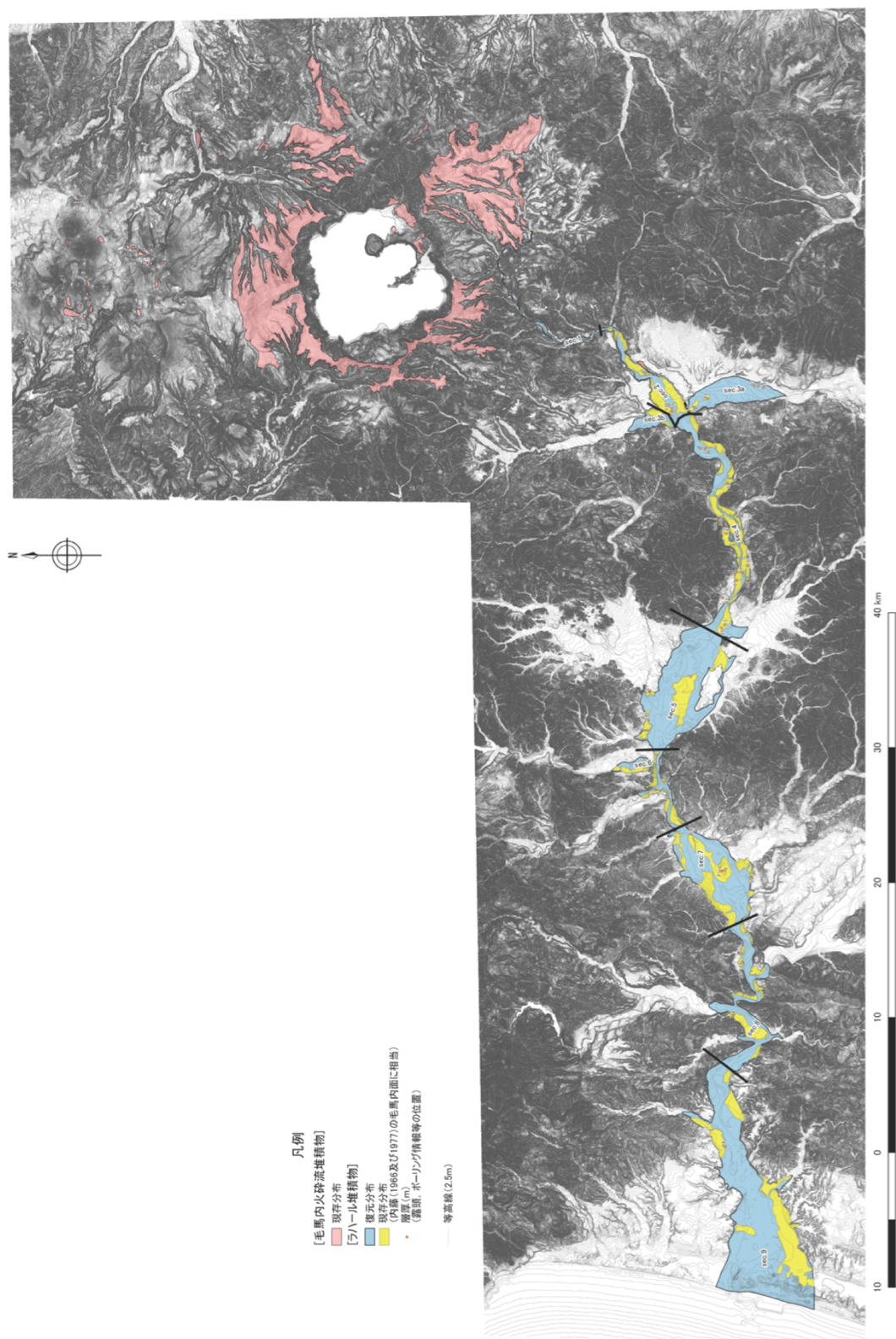


図 1.5-45. 米代川沿いのラハール堆積物の復元分布，並びに復元体積を求めるにあたり設定した流路区間（sec.1～9，sec.3 のみ 3a と 3b に区分）

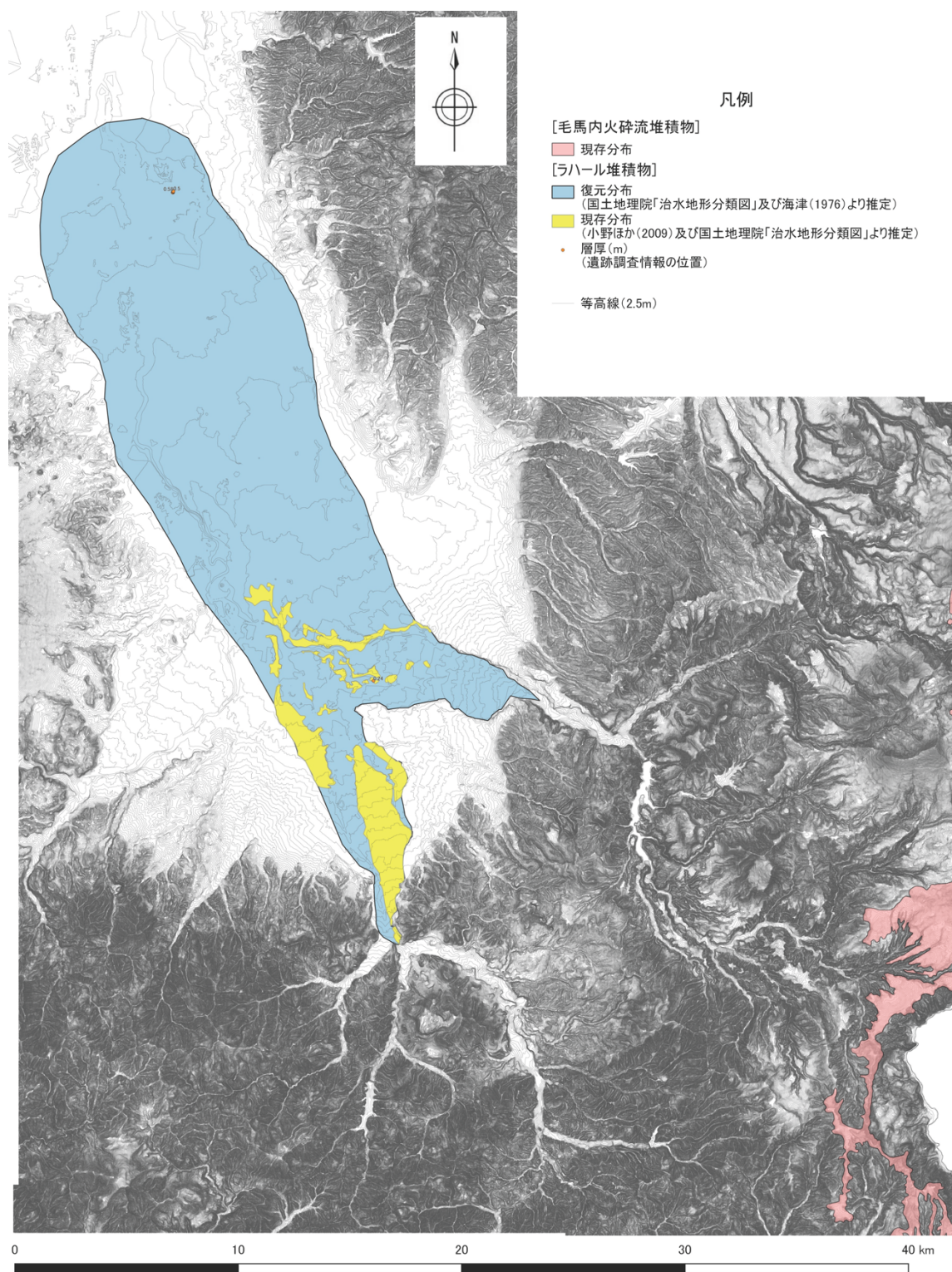


図 1.5-46. 津軽平野のラハール堆積物の復元分布

表1.5-17. 毛馬内火砕流堆積物に関連したラハール堆積物の現存・復元体積の算出結果

米代川沿い

区間 (復元域)	面積 (m ²)		層厚 (m)		体積 (m ³)		備考
	①		最大②	最大平均③	①×②	①×③	
1	1.96	E+06	0.40	0.35	0.78 E+06	0.69 E+06	下流側復元域の幅と地形状況を考慮
2	8.90	E+06	6.00	5.75	53.41 E+06	51.19 E+06	
3a	10.08	E+06	4.50	4.50	14.98 E+06	14.98 E+06	支流への遡上形状を考慮*
3b	3.06	E+06	3.30	3.30	3.33 E+06	3.33 E+06	支流への遡上形状を考慮*
4	19.65	E+06	4.00	2.87	78.61 E+06	56.40 E+06	
5	32.61	E+06	6.20	6.01	202.18 E+06	195.98 E+06	
6	7.18	E+06	3.00	2.50	21.53 E+06	17.94 E+06	
7	24.39	E+06	10.00	7.70	243.89 E+06	187.80 E+06	
8	15.77	E+06	2.80	2.01	44.17 E+06	31.71 E+06	
9	63.98	E+06	0.40	0.40	25.59 E+06	25.59 E+06	
			復元体積 (上段:m ³ , 下段:km ³)		688.47 E+06	585.60 E+06	*: 面積×層厚に1/3を乗じた。
					0.69	0.59	

津軽平野

区域	面積 (m ²)		層厚 (m)		体積 (m ³)		備考
	①		最大②	最小③	①×②	①×③	
現存域	20.99	E+06	0.36	0.24	7.56 E+06	5.04 E+06	現存域： 前川遺跡での第BⅢ層の層厚24cm～36cm 復元域： 十三盛遺跡及び前川遺跡における該当地層 の層厚を参考
			現存体積 (km ³)		0.008	0.005	
復元域	271.03	E+06	0.55	0.24	149.06 E+06	65.05 E+06	
			復元体積 (km ³)		0.15	0.07	

(4) まとめと今後の課題

始良カルデラの入戸火砕流堆積物、十和田カルデラの毛馬内火砕流堆積物を対象として、学術文献、地質図、ボーリングデータベース等に記載された分布、層厚等に係る地質情報を収集・整理し、各火砕流堆積物の現存分布図及び復元分布図、並びに主要流路の断面図を解析・作成した。そして、これらの結果をもとに、各火砕流堆積物について、現存体積及び復元体積を算出した。

①入戸火砕流堆積物

入戸火砕流堆積物の現存体積は $31.5 \text{ km}^3\text{DRE}$ （見かけ： 71.7 km^3 ）と求められた。

復元体積については、復元堆積面の作成に用いたメッシュサイズの大きさ（ 500 m 、 1 km 、 5 km ）と標高データの採用値（最大、平均、最小）の組合せに応じて、 $120.9 \text{ km}^3\text{DRE}$ （見かけ： 302.2 km^3 ）～ $701.5 \text{ km}^3\text{DRE}$ （見かけ： $1,753.5 \text{ km}^3$ ）のばらつきを有するが、メッシュ内の標高の平均値から求めた場合には、メッシュサイズに対する依存性が小さく、 $207.0 \text{ km}^3\text{DRE}$ （見かけ： 517.5 km^3 ）～ $239.7 \text{ km}^3\text{DRE}$ （見かけ： 599.2 km^3 ）と求められた。また、断面図に示された現存地形面と復元堆積面との関係に着目すると、標高データの平均値をもとに作成した復元堆積面は、大局的に、メッシュサイズに関係なく、現存地形面の背面をなぞるように分布しており、入戸火砕流堆積物の堆積原面を最も適切に示している可能性が高い。

従って、本調査で使用した復元分布図の作成手法では、入戸火砕流堆積物の体積として、 $200 \text{ km}^3 \sim 250 \text{ km}^3\text{DRE}$ （見かけ： $500 \text{ km}^3 \sim 600 \text{ km}^3$ ）が適当な値と評価できる。

② 毛馬内火砕流堆積物

毛馬内火砕流堆積物の現存体積は約 $0.02 \text{ km}^3\text{DRE}$ （見かけ：約 0.06 km^3 ）と求められた。また、復元体積は約 $0.20 \text{ km}^3\text{DRE}$ （見かけ：約 0.56 km^3 ）～約 $0.23 \text{ km}^3\text{DRE}$ （見かけ：約 0.65 km^3 ）と求められた。

一方、ラハール堆積物の復元体積は、米代川沿いで約 $0.59 \text{ km}^3 \sim 0.69 \text{ km}^3$ （見かけ）と求められた。津軽平野については、前川遺跡周辺から十三盛遺跡にかけて広がる自然堤防を上載し段丘化した氾濫原にラハールが流下・堆積したと仮定した場合、復元体積として約 $0.07 \text{ km}^3 \sim 0.15 \text{ km}^3$ が求められ、ラハール堆積物の復元体積は最大約 0.84 km^3 と推定される。

③ 今後の課題

本調査における検討では、入戸火砕流堆積物の復元堆積面の解析に使用した標高データが平均値の場合、メッシュサイズに依存せずばらつきが小さい復元体積が得られた。同時に、復元した火砕流堆積面と現存地形面の背面が概ね一致した。このことは、火砕流堆積物の堆積直後の体積、産状等をより高精度・適切に把握するには、火砕流堆積物の堆積原面上で得られたデータ（堆積物上面・下面高度（標高）及び産状）を面的に広く取得することが、重要かつ効果的であることを示している。

また、今回は十分なデータが収集できなかったが、カルデラ噴火等、多量の火砕物を伴う噴火では、ラハール堆積物は火砕流堆積物の到達範囲外に広く流下し、長期的に影響を及ぼす。特に、急峻な山体を有する山体ほど、その影響はより大きくなることが考えられる。

したがって、カルデラ噴火後のラハール堆積物による影響についても、火砕流堆積物と同様に、分布範囲・堆積量等の精緻化、定量化に向けた検討が重要である。

参考文献（表 1.5-3, 表 1.5-7 を除く）

- 海津正倫（1976）：津軽平野の沖積世における地形発達史，地理学評論，49，pp.71.5－735.
- 鎌田耕太郎・秦 光男・久保和也・坂本 亨（1991）：20 万分の 1 地質図幅 八戸，地質調査所.
- 国土地理院：治水地形分類図，http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html
- Miyamachi, H., Tomari, C., Yakiwara, H., Iguchi, M., Tameguri, T., Yamamoto, K., Ohkura, T., Ando, T., Onishi, K., Shimizu, H., Yamashita, Y., Nakamichi, H., Yamawaki, T., Oikawa, J., Ueki, S., Tsutsui, T., Mori, H., Nishida, M., Hiramatsu, H., Koeda, T., Masuda, Y., Katou, K., Hatakeyama, K. and Kobayashi, T. (2013): Shallow Velocity Structure Beneath the Aira Caldera and Sakurajima Volcano as Inferred from Refraction Analysis of the Seismic Experiment in 2008, Bull.Volcanol.Soc.Japan, 58, pp.227-237.
- 内藤博夫（1977）：秋田県能代平野の段丘地形，第四紀研究，16，pp.57－70.
- Ueno, T. (2004) : Eruption mechanisms of large-scale pyroclastic flow: A case study of Aira pyroclastic eruption. Ph. D. thesis, Kobe University, 165p.
- 宇都浩三・味喜大介・内海 茂・石原和弘（1999）：桜島火山ボーリングコアの K-Ar 年代と古地磁気測定—火山活動史解明への複合的取り組み—，京都大学防災研究所年報，42，B-1, pp.27－34.

1.6 インドネシアでのカルデラ火山事例調査

【実施内容】

歴史時代に大規模噴火を繰り返したインドネシアのカルデラ火山では、これまでの研究により成層火山体を建設するステージからカルデラ形成噴火に至る数千年間で噴出率、噴火様式、マグマ組成、火口位置に変化が見られることがわかりつつある。平成 28 年度はこれまでの噴火履歴についての調査結果をとりまとめ、特に 1257 年にカルデラ形成噴火を起こしたロンボク島のリンジャニ火山を主体に、マグマ供給系の時間変化を検討した。その結果、インドネシア・リンジャニ火山の成層火山活動期噴出物は、その分布域ごとに記載岩石学的特徴・全岩化学組成ともに異なることが明らかになった。リンジャニ火山では時間とともに噴火位置が変化することから、このことはマグマ生成場の違いを反映している可能性が高い。

【研究成果】

リンジャニ火山の噴火活動史および昨年度までの研究成果

リンジャニ火山はインドネシア・ロンボク島に位置するカルデラ火山である(図 1.6-1)。ロンボク島の火山群は総体積 2000 km³に及び、Western Lombok Volcanic Complex (WLV:170 km³), Central Lombok Volcanic Complex (CLV: 850 km³), Eastern Lombok Volcanic Complex (ELV:900 km³)からなっている。本火山群の中では WLV は最も古く、リンジャニ火山は CLV 形成後、CLV 東山腹に発達した成層火山で、10 万年前頃から活動を開始し、その活動は成層火山活動期(A)、低活動期(B)、カルデラ形成期(C)および後カルデラ期(D)に分けられる(図 1.6-2)。リンジャニ火山の火口は時間とともに東へ移動したが、カルデラ陥没は CLV 中心部で起こった(高田, 2010)。

これまでの研究では、成層火山活動期(A)から後カルデラ期(D)までの噴出物について岩石記載および全岩主成分・微量成分組成分析を行った結果、リンジャニ火山の噴出物は、成層火山形成期(A)および後カルデラ期(D)の玄武岩～安山岩、低活動期(B)およびカルデラ形成期(C)のデイサイトの大きく 2 つに区分されること、また低活動期(B)とカルデラ形成期(C)の噴出物は類似した珪長質岩であるが、両者はそれぞれ異なる組成トレンドを示すことも明らかになった。また、2 低活動期 (B) およびカルデラ形成期(C)の噴出物に注目して、微量成分分析、Sr-Nd-Pb 同位体比分析、鉍物化学組成分析を行った結果、カルデラ形成期と低活動期の噴出物は液相濃集元素濃度が異なるものの同位体比組成は類似していること、いずれの噴火でもデイサイト質マグマが主体で低活動期では少量のより苦鉄質なマグマが混合していること、カルデラ形成期と低活動期とでデイサイト質マグマの岩石学的特徴が異なることから低活動期噴火後にマグマ供給系が一新されたことが明らかになった(図 1.6-3)。

今年度は、成層火山活動期(A)の噴出物について分布地域ごとの岩石記載、全岩主成分・微量成分組成を追加したので、ここに報告する。

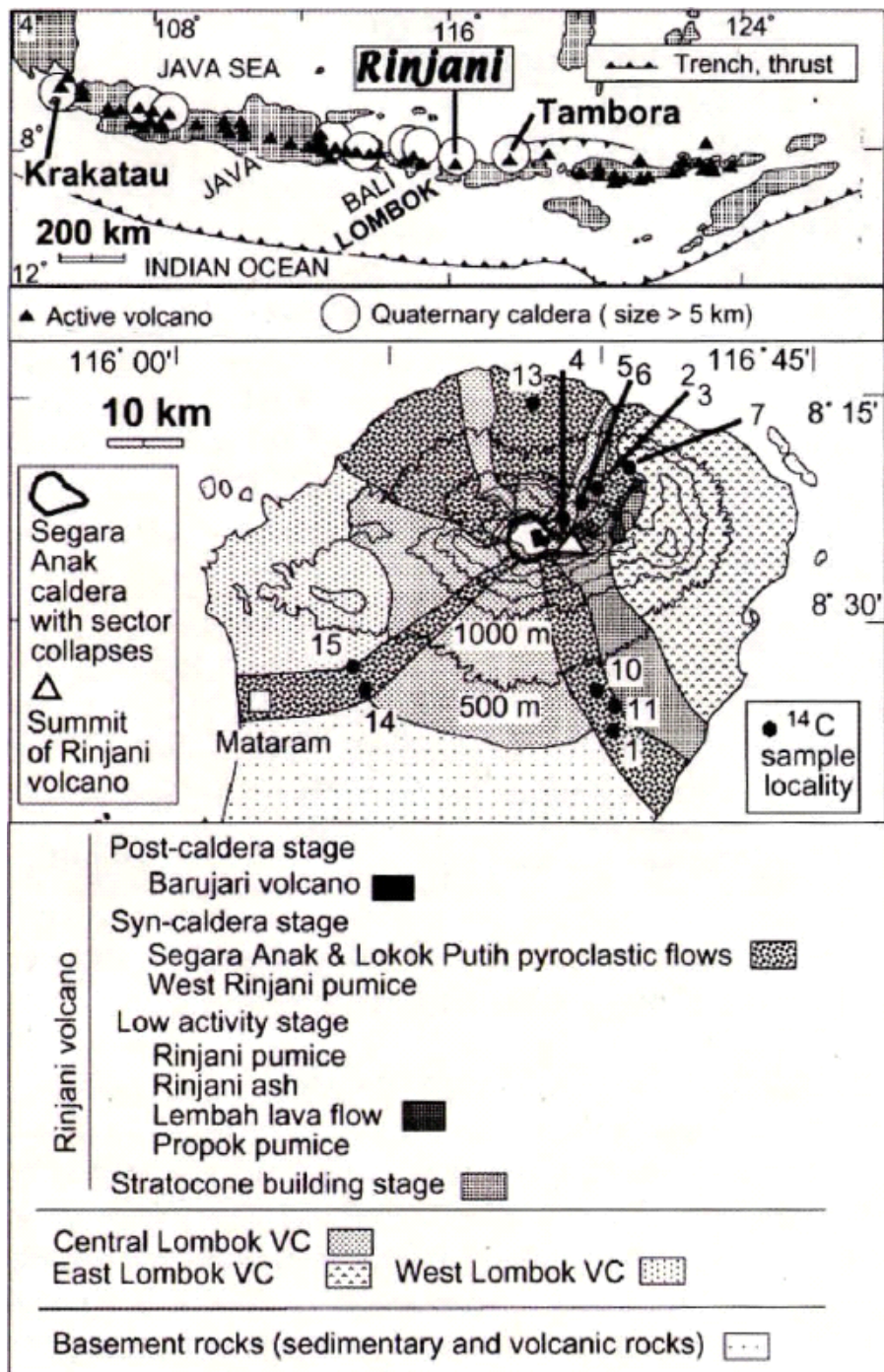


図 1.6-1. リンジャニ火山の地質概略図 (Nauton et al., 2003).

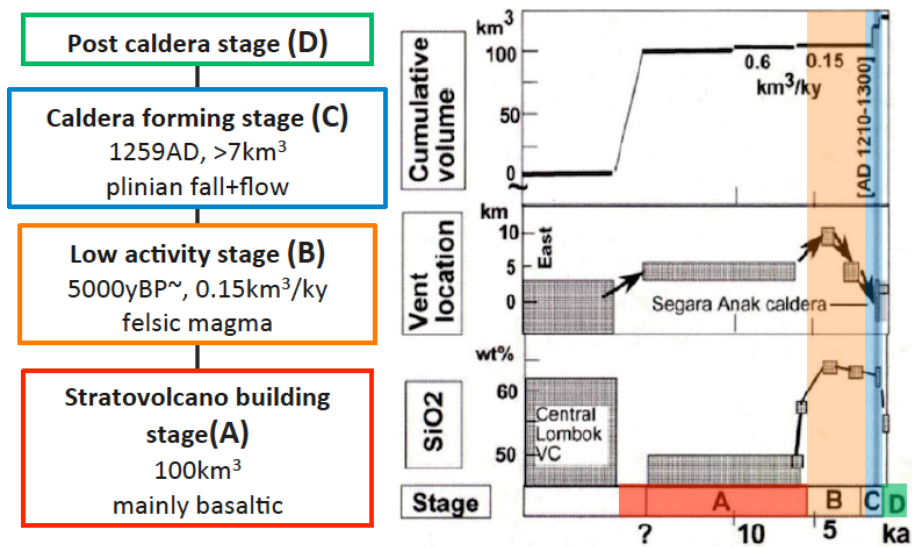


図 1.6-2. リンジャニ火山の活動史の概要.

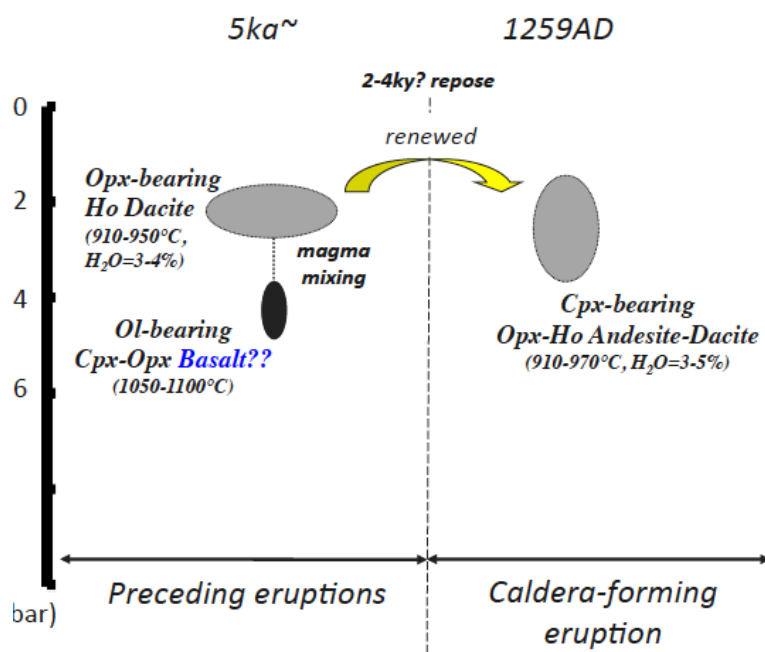


図 1.6-3. 低活動期(B)およびカルデラ形成期(C)のマグマ供給系の構造および変遷.

成層火山活動期噴出物の岩石記載

成層火山活動期噴出物は、玄武岩ではかんらん石、安山岩では輝石が主要な斑晶であり、安山岩～デイサイトではわずかに角閃石斑晶を含むことがある。その分布域によって、記載岩石学的特徴が異なる(図 1.6-4)。WLV 地域の噴出物は主に斜方輝石・単斜輝石玄武岩～安山岩であり、角閃石やかんらん石を含んでいるものもあり、斑晶量は 20～35 %程度である。一方、ELV 地域の噴出物は主に斜方輝石・単斜輝石・カンラン石玄武岩であり、斜方輝石や単斜輝石が含まれないものや量比の少ないものもあり、斑晶量は 1.6～50 %である。CLV 地域の噴出物は主に単斜輝石・かんらん石玄武岩および斜方輝石・単斜輝石安山岩であり、斑晶量は 20～40 %程度である。また、CLV 地域南側の噴出物(CLVS)は主に斜方輝石・単斜輝石安山岩～デイサイトであり、かんらん石が含まれているものもある。カルデラ外輪山 (Somma)の噴出物は主に単斜輝石・かんらん石玄武岩～安山岩であり、斜方輝石を含有しているものもあり、斑晶量は 20～50 %である。

分布域	岩石名	斑晶量(vol%)	斑晶組み合わせ
Somma	Cpx-Ol basalt-andesite	20-50	Pl>Ol>Cpx(>Opx)>Opq
CLV	Cpx-Ol basalt	20-40	Pl>Ol>Cpx>Opq
	Opx-Cpx andesite		Pl>Cpx>Opx>Opq
CLVS	Cpx-Opx andesite-dacite	<10	Pl>Opx>Cpx(>Ol)>Opq
ELV	Opx-Cpx-Ol basalt	15-50	Pl>Ol>Cpx>Opx>Opq
WLV	Opx-Cpx basalt-andesite	20-35	Pl>Cpx>Opx(>Ol>Hb)>Opq

図 1.6-4. 成層火山活動期噴出物の記載岩石学的特徴。

成層火山活動期噴出物の全岩化学組成

成層火山活動期の岩石は $\text{SiO}_2=44.8\sim63.7$ wt%の組成幅を示すが、玄武岩～玄武岩質安山岩に富む(図 1.6-5)。分布地域ごとの SiO_2 量は、WLV で $\text{SiO}_2=53.7\sim61.3$ wt%, ELV で $\text{SiO}_2=44.8\sim51.3$ wt%, CLV で $\text{SiO}_2=52.1\sim58.2$ wt%, CLVS で $\text{SiO}_2=59.3\sim63.7$ wt%, Somma で $\text{SiO}_2=50.9\sim60.4$ wt%である。

WLV と ELV はその SiO_2 範囲が重複せず、WLV と ELV の中間的な組成に CLV と Somma の噴出物がプロットされる。また CLVS は安山岩～デイサイト質の噴出物のみからなり、Y 含有量が他の噴出物に比べて明らかに高い。Rb・Y・Zr・Ba などの incompatible 元素比に注目するといずれもその比は一定ではなく、 SiO_2 の増加とともに Y/Rb は増加、Zr/Rb, Ba/Rb, Y/Zr は減少する傾向が認められる(図 1.6-6)。

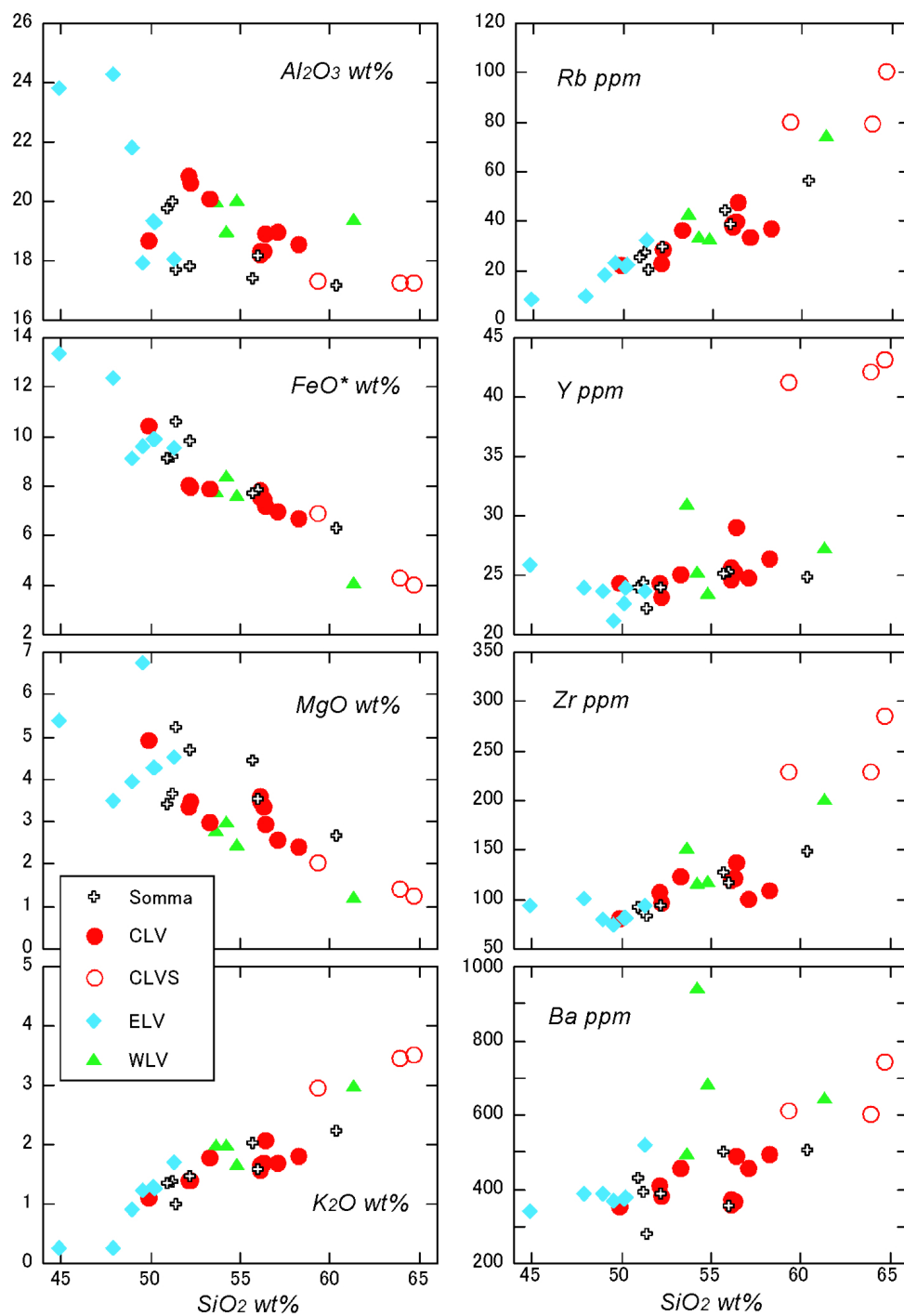


図 1.6-5. 成層火山活動期噴出物の主要元素・微量元素組成.

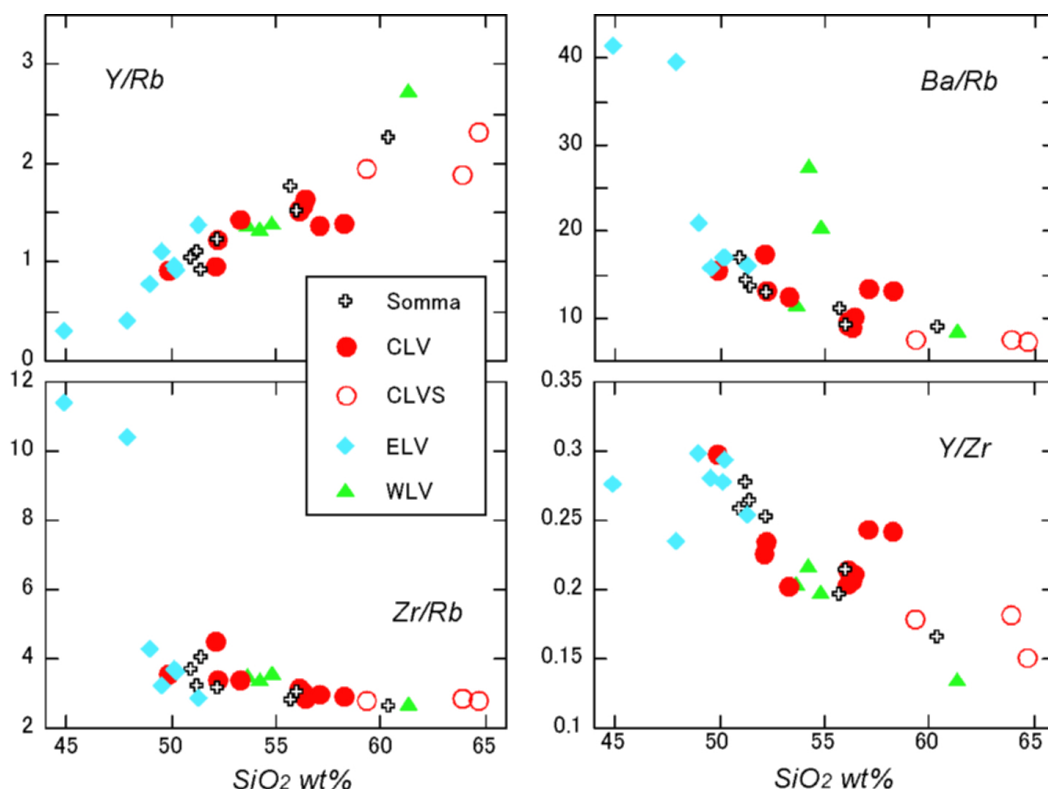


図 1.6-6. 成層火山活動期噴出物の incompatible 元素比.

成層火山活動期噴出物の分布域ごとの岩石学的特徴

上述のように、成層火山活動期噴出物はその分布域ごとに岩石学的特徴が異なるように見える。これらの噴出時期については不明な点が多いため、この特徴の違いが空間的な違いを反映しているのか、あるいは時間的な違いを反映しているのかは定かではない。しかしながら、高田(2010)が指摘しているように、リンジャニ火山では噴火位置が時間とともに移動するという特徴があることから、分布域ごとの岩石学的特徴の違いは、マグマ生成場の違いを反映している可能性は高い。今後の地質調査により、成層火山活動期の噴火履歴がより詳細になれば、本研究で明らかになった岩石学的特徴の違いの成因を制約できる可能性がある。

引用文献

- Nasution A., Takada A., & Furukawa, R. (2003). Eruptive history during the last 10ky for the caldera formation of Rinjani volcano, Indonesia. Abstract, 2003 IUGG Meeting.
- 高田亮(2010). インドネシア・スンダ弧におけるカルデラ噴火とカルデラ火山の特徴. 地質学雑誌, 116, 473-483.