

本村での火砕サージ堆積物の厚さと平地発達の背景 —掘削資料と物理探査結果からの推定—

新島村博物館 館外研究協力委員 磯部一洋

1. はじめに

北部伊豆諸島の新島には、浅海付近で激しい噴火の発生したことを示す火砕サージ堆積物（一色、1987）が、若郷・阿土山・向山の三つの単成火山を中心に分布する。そして、約2,500年前に最北部の新島山（図8のNj参照）とジナーカ山（同Ji）間に出現した若郷火山は本地域唯一の玄武岩質の火砕サージ堆積物、9世紀中頃と後半に出現した阿土山（同At₃ほか）・向山（同My₃ほか）の両火山は流紋岩質の火砕物と溶岩からそれぞれなる。

本稿では、向山火山の火砕物の中で火砕サージ堆積物を主な研究対象とするため、以下には向山火山の名称を省いて火砕サージ堆積物（標題）のように表現することが多い。

本村集落や農地の広がる本島最大の平地浅層部は、西暦886年の最新噴火による火砕サージ堆積物からなり、その一部が砂丘砂によって覆われる。筆者は、地元でトジや白ママと呼ばれている火砕サージ堆積物の下底や基盤岩類をより詳しく把握するために、関連資料を収集して来た。

本村の平地では、これまでに深井戸である水道用水源井や農業用水源井が掘削され、温泉井・火山観測点の掘削や地盤調査試錐も実施された。さらに、物理探査法の一つでより簡便な微動アレー探査がジオックスコンサルタント株式会社によって本村地区で行われ、海面下の標高-350mに達するS波速度の解析断面が図示された。その図からは1,000m/sを超えるS波速度の岩石が平地中央部の地下深くに広がる様子が推定される。

以下では、本村における掘削資料と微動アレー探査結果から、向山火山の火砕サージ堆積物の厚さと平地発達の背景に関する検討結果を報告する。なお、本稿は新島単成火山群の形成に関する磯部（2019）の続報に当たる。

2. 掘削資料から推定される平地浅層部の地質

2.1 坑井の諸元

本村地区の平地は農地や空港のある広い中央部、集落の主にある狭い北西部、間々下浦へ続く細長い南西部からなる（図1）。向山（My₃）・瀬戸山（St）・峰路山（Mi）の三つの溶岩ドーム（写真1）によって区分される平地では、深井戸などの26坑井が掘削され、それらの位置を図1に示す。

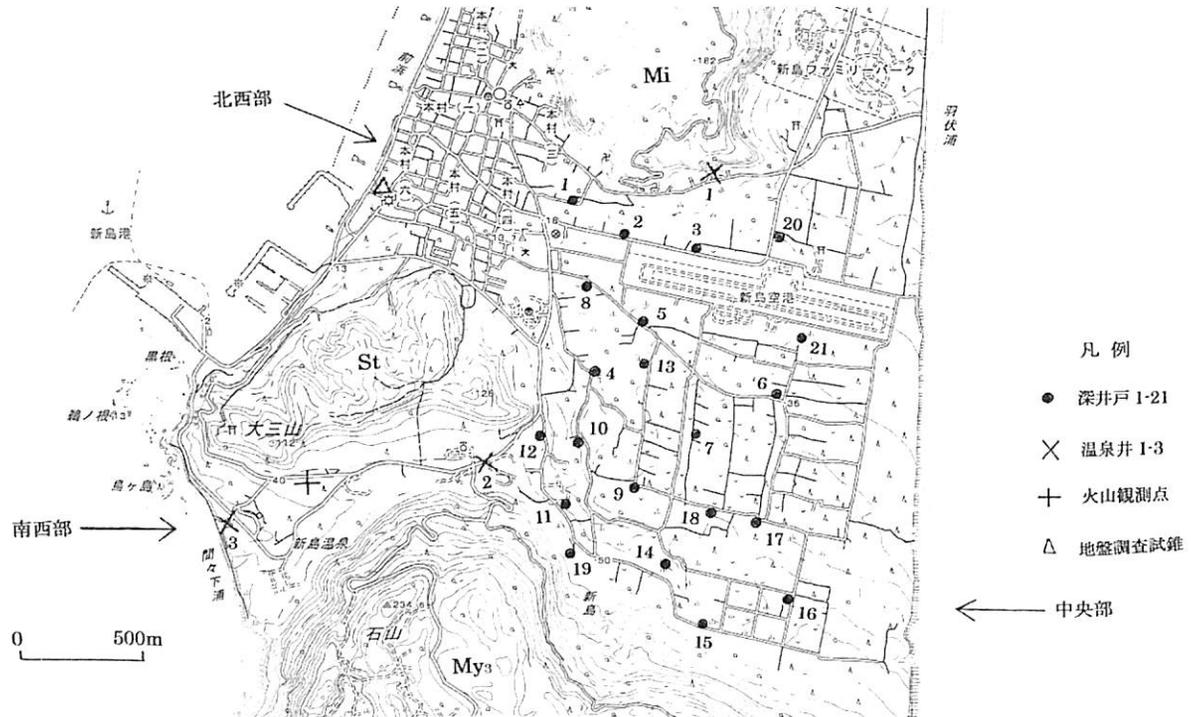


図1 本村の平地中央部・北西部・南西部における4種類の坑井位置図。本図および図2・4・5の作成に当たり、国土地理院平成27年7月1日発行の2万5千分の1地形図「式根島」に、溶岩ドームの略称My₃・St・Miなどを加筆した。



写真1 赤崎峰ドーム南端の富士見峠（図8の×印参照）から、正面に大きく見える向山のドームと大峰の火砕丘（矢印）や式根島・神津島の両火山島を望む。平頂な向山ドーム・集落背後のより低い瀬戸山ドーム・前景の低い峰路山ドームに3方向を限られた火砕サージ丘である本村の平地を、2018年10月28日に撮影。

深井戸は中央部の21個所で掘られ、温泉井は中央部北方の山津（温泉井1）、南西部の水尻（同2）と間々下浦（同3）の3個所、火山観測点は南西部の笠松、地盤調査試錐は北西部の本村前浜近くでそれぞれ掘削された（図1）。これまでに、北西部や中央部では多数の地盤調査試錐が実施されており、火砕サージ堆積物が十分な支持層になり得るために本層中で掘削を終えている。

深井戸の口径などの諸元を表1、温泉井・火山観測点・地盤調査試錐の深度などのそれを表2に示す。

表1 本村の平地における村実施の深井戸の諸元[磯部(1996)に加筆]

番号	井戸名	設置年	口径(mm)	深度(m)	地盤標高(m)	坑底標高(m)
1	第1水源	1970	300	30	24.7	-5.3
2	2	"	"	36	21.6	-14.4
3	3	"	"	"	28.6	-7.4
4	4	1973	250	31	23.0	-8.0
5	5	"	"	37	28.7	-8.3
6	6	"	"	42	34.4	-7.6
7	7	1976	"	43	34.1	-8.9
8	8	1979	"	27	19.9	-7.1
9	9	"	"	45	38.2	-6.8
10	10	1981	"	34	26.5	-7.5
11	11	"	"	48	41.3	-6.7
12	12	1982	"	50	38.6	-11.4
13	13	"	"	"	33.2	-16.8
14	式根島第1水源	1974	300	54	47.6	-6.4
15	2	"	"	58	52.2	-5.8
16	3	"	"	63	55.5	-7.5
17	農水1号水源	1976	"	80	42.6	-37.4
18	2	1966	700	50	42.1	-7.9
19	3	1970	300	60	41.2	-18.8
20	4	1968	700	26	24.9	-1.1
21	水位観測井	1989	200	50	32.8	-17.2

各井戸の地質は、掘進時のスライムや掘削記録から火砕サージ堆積物と推定される

表2 本村の平地における温泉井・火山観測点・試錐の諸元

坑井名称	実施機関	場所	深度 (m)	地盤標高 (m)	坑底標高 (m)	文献
温泉井 1	グランドホテル	山津	508	45	-463	日本熱水開発(1995)
2	新島村	水尻	304.5	48	-256.5	磯部(1996)
3	新島本村	間々下	42.1	16.8	-25.3	磯部(1968)
火山観測点	東京管区気象台	笠松	101.1	41.2	-59.9	伊藤ほか(2011)
地盤調査試錐	新島村	ポンプ場	40	8	-32	磯部・中島(2008)

温泉井1・3の地質はスライム、その他は棒状の岩芯試料からそれぞれ推定される。

2.2 火砕サージ堆積物の基底標高

向山噴火は浅海域におけるマグマ水蒸気爆発で始まり、黒雲母流紋岩質の火砕サージ堆積物（軽石）の大量放出によって浅海底は急速に埋め立てられ、標高10～90mの火砕サージ丘である本村の平地が出現した。海面下を含む火砕サージ堆積物（写真2）の厚さを知るためには、その基底に当たる標高（以下では基底標高と呼ぶ）を坑井資料から求める必要がある。

2.2.1 深井戸資料からの検討

一色（1987）は新島を南北に縦断する地質断面図において、海水準から標高-50mにかけた範囲のみ本堆積物を表現し、その下限や下位層の分布を示していない。さらに、新藤（1980）による付図の新島深井戸・水道水源資料には、表1の1～7番井と14～16番井の10本分の地質柱状図に掘削時のスライムから推定された火砕物の特徴と取水用のストレーナーの位置（最下部に集中）がそれぞれ示されている。

筆者は両文献から、21本の深井戸の坑底に当たる標高（同様に坑底標高と呼ぶ）は-1.1mから-37.4mの範囲にあって、いずれも帯水層を形成する火砕サージ堆積物で掘り止めとなり、固結した難透水性の基盤岩まで掘られた深井戸はないと解釈した。なお、大学院生時の磯部（1968）は基盤上限の標高を-7.8mと浅くしている（4.1節参照）。

本堆積物の基底標高が-11.4mより深いと推定される2番井などの6本のそれを表3に不等号付きの数値で示す。残りの15本（1番井ほか）の基底標高は、表1に示した坑底標高の-1.1m～-8.9mよりいずれも深い。

2.2.2 温泉井などからの推定

温泉井1を除く4本の坑井の基底標高は表3に示すとおり、温泉井2・3が-12.0mと

-20.2m、火山観測点が-17.7m、地盤調査試錐が-15.8mである。火砕サージ堆積物は瀬戸山溶岩を4坑井のいずれでも覆い、温泉井3と火山観測点においては浅海底堆積物が薄く狭まる。

瀬戸山ドームを取り囲む平地上の4地点では、瀬戸山溶岩が標高-15m前後に伏在し、本ドームが現海水準においてより縮小したことを示す(図6参照)。

一方、峰路山山麓部で掘削された温泉井1では火砕サージ堆積物の基底標高が約31mへ高まり、その厚さも14mに減少し、サージ物質が南向きの旧海食崖に付着したことが分か

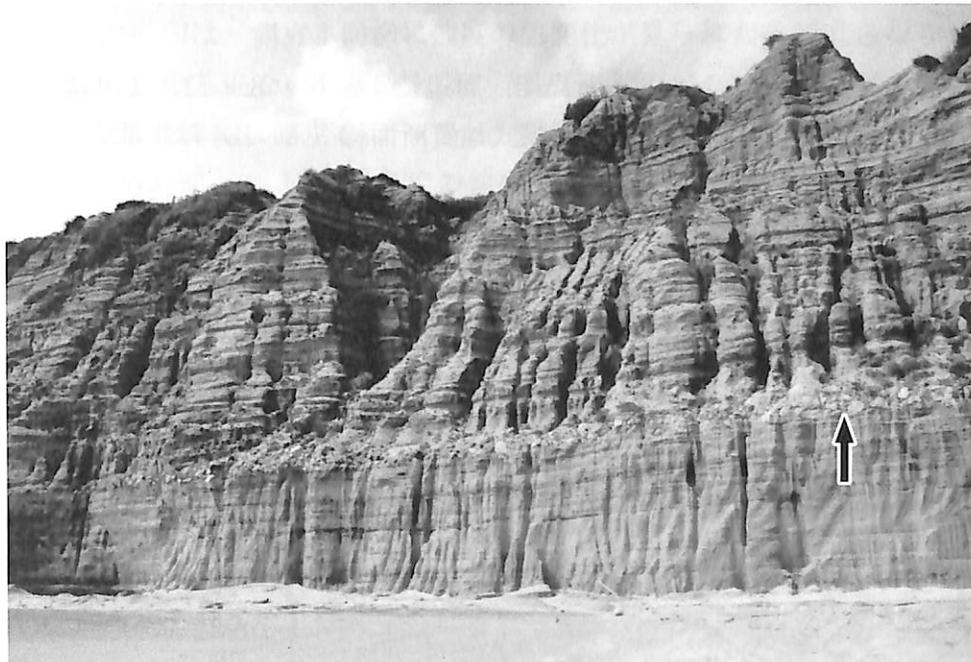


写真2 高さ約50mの海食崖を構成する火砕サージ堆積物(矢印は巨大軽石層)。サージ物質が高速で南(左)から北へ移動し、水平層や斜層理をそれぞれ形成する。羽伏浦南部(図2参照)において2009年3月11日に撮影。

表3 手法別の火砕サージ堆積物の基底標高

深井戸		温泉井等		物理探査			
番号	基底標高	坑井	基底標高	測点	基底標高	測点	基底標高
2	-14.4m>	温泉井 2	-12.0m	1(8)*	-14m	7(13)	-41m
12	-11.4m>	3	-20.2m	2(10)	-35m	8(29)	-41m
13	-16.8m>	火山観測点	-17.7m	3(20)	-28m	9(43)	-35m
17	-37.4m>	地盤調査試錐*	-15.8m	4(32)	-47m	10(56)	7m
19	-14.8m>			5(33)	-35m	11(25)	-21m
21	-17.2m>			6(32)	-62m		

深井戸と温泉井等の地盤標高は表1・2参照。物理探査測点の括弧内は地盤標高を示す。

*同一地点でも、基底標高は手法の違いにより多少異なる。

る（図7参照）。

3. 物理探査結果から推定される地下地質

3.1 微動アレー探査測点の配置

ジオックスコンサルタント（2016）は、平地中央部などの農業地区のT字路や広場の11個所において、水平成層構造の解明に適した微動アレー探査を2016年5月に実施した。全測点の位置は図2に示すとおりである。測点1と地盤調査試錐は同一地点（図1・2・6参照）、測点9と深井戸18は約50mの距離にあり、残りの9測点と深井戸20本の位置はいずれも離れている。

探査測点は集落の南側に1～3、新島空港周辺に4～6・8・11、より離れて7・9・10がそれぞれ配置される。5章で述べる模式地質断面線（A-B）は、北から南へ測点4・9・10の順に通過する。

3.2 火砕サージ堆積物の基底標高の推定

微動アレー探査のS波速度解析断面を図3に示す。その縦軸には標高を-350m、横軸に

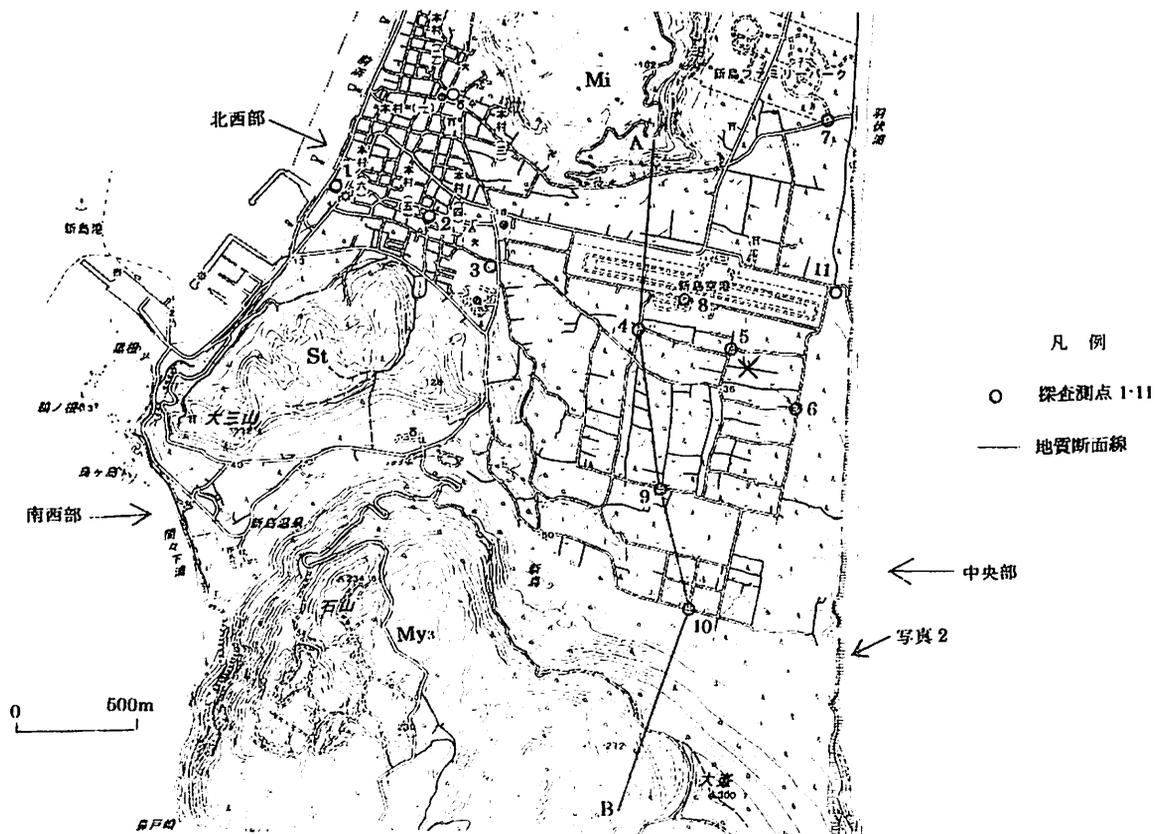


図2 本村の平地中央部・北西部における微動アレー探査11測点の位置図。A・Bは模式地質断面線の端部、羽伏浦南部の矢印は撮影方向、×は地震探査観測点N10の概略の位置をそれぞれ示す。

はS波速度を1,500m/sまで表現する。S波速度は下方へ向かって大きく、緻密な岩石へ変化する傾向が伺える。以下では、1,000m/sを超える緻密で硬いと推定される岩石を硬石、それ以下の柔らかいと推定される岩石を軟石と仮称する。

上述したとおり測点1は、新島村が2001年に実施した地盤調査試錐と同一地点である。そこでは標高-15.8mを境に上方が火砕サージ堆積物、下方が軽石質の瀬戸山溶岩であることが建設課上下水道係に保管された地質標本によって確認されている（磯部・中島、2008）。前者の火砕物のS波速度は200m/s前後であるのに対し、後者の溶岩のそれは500m/s以上を示し、標高-14mに顕著な速度変化が認められる〔図3の測点1参照〕。

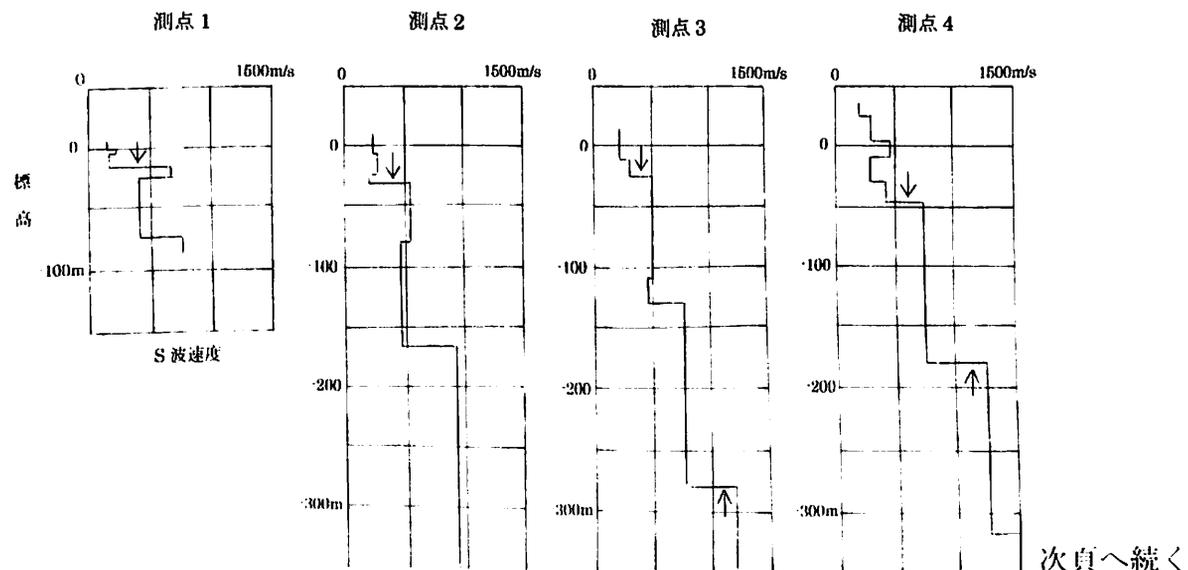
図3の下向きの矢印は、測点1同様に速度の急変化が見られた火砕サージ堆積物（薄い海底堆積物を含む）の基底ないし基盤上限の標高を各測点について表したものである（表3参照）。最深の基底標高は測点6の-62m、最浅のそれは測点10の7mである。ただし、測点1の基底標高は-14m、同一地点での地盤調査試錐によるそれは-15.8mで1.8mの差がある。4.1節の議論に際しては微動アレー探査の有する測定の精度にも注意する必要があるだろう。

3.3 硬石の分布

図3の下向きの矢印より下方の地質は、^{ぜにす}銭洲海嶺の平坦な島棚をなす第四紀前期更新世末の変質火山岩類（磯部、2016）などの基盤岩と推定され、S波速度が500m/s以上に増加する。その中で、測点9での速度は標高-168m以深において1,500m/sにより近づく。一方、^{はぶしうら}羽伏浦西側の測点11のそれは500~1,000m/sで軟石に相当する。すなわち、測点9周辺に硬石があり、軟石がそれを取り囲むように推定される。なお、硬石については5章で再度述べる。

3.4 軟石の実体

S波速度が1,000m/s以下を示す基盤の軟石は、どのような火山噴出物に相当するかにつ



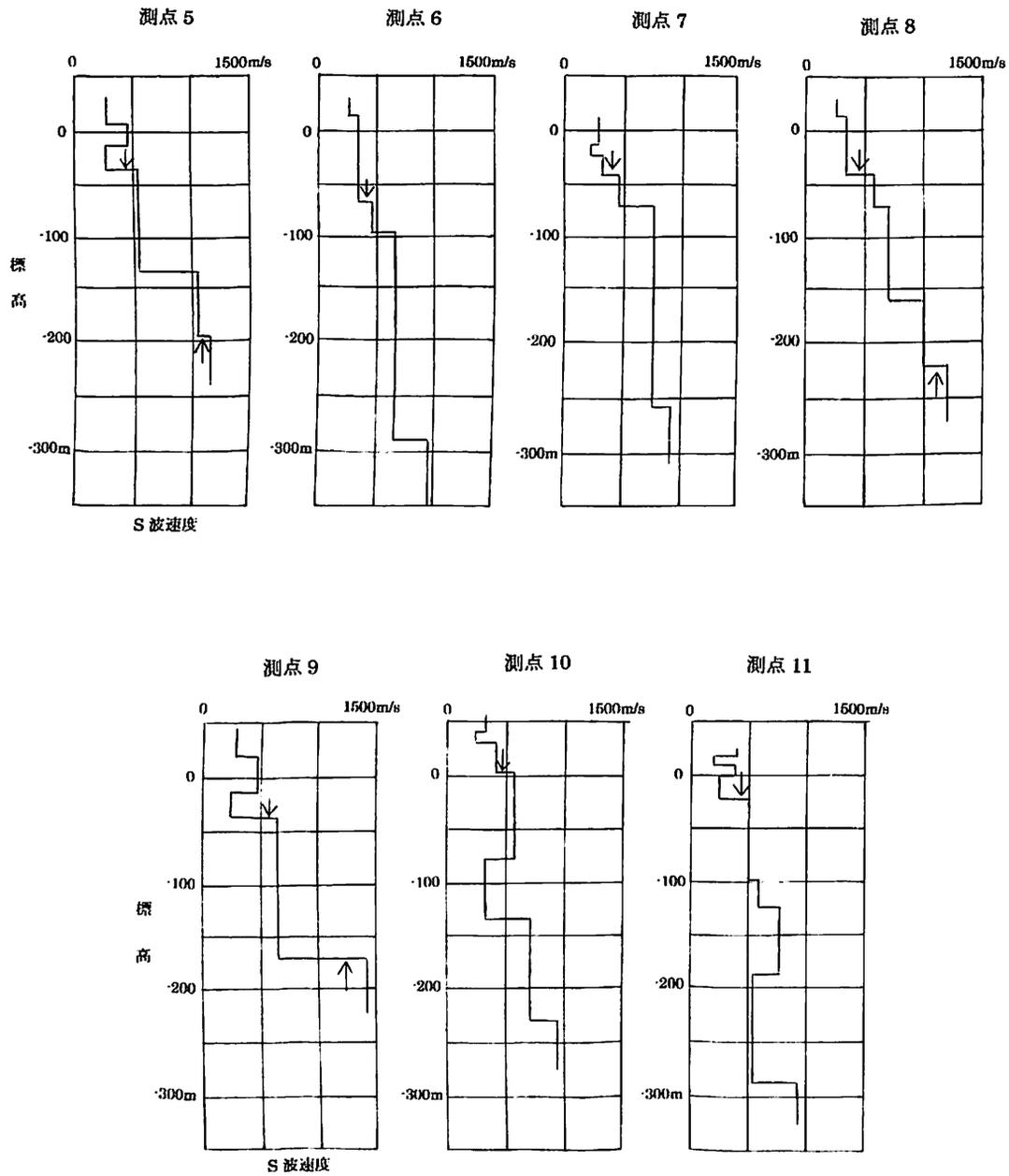


図3 微動アレー探査解析断面図 [ジオックスコンサルタント (2016) の一部改編]。
 ↓は火砕サージ堆積物の基底ないし基盤 (測点1のみ瀬戸山溶岩、その他は変質火山岩類)
 上限の標高。↑は硬石 (S波速度1,000m/s以上) 上端の標高。

いて検討する。

平地南端に近い測点10の基盤上限の標高は他の測点と著しく異なり、海面上の7mを示す。砂浜（写真2参照）が仮に700m以上後退すると、火砕サージ堆積物からなる白い海食崖の基部に未知の軟石が露出することになる。

本測点の標高7mから-137mにおいて、厚さ82mの上半部でのS波速度は600m/s弱、厚さ62mの下半部のそれは300m/s弱の軟石からそれぞれなる。前者が多孔質溶岩、後者が細粒の火砕岩と考えられるが、厚さ144mの軟石は本地域の単成火山の噴出物の規模としては薄過ぎるようにも見える。

4. 火砕サージ堆積物の分布図作成

4.1 基底標高分布図

2.2節で述べた坑井4本と深井戸21本、さらに3.2節で報告した物理探査11測点に係わる計36点の火砕サージ堆積物の基底標高を記入し、全ての標高を参考にして分布曲線を描いたのが図4である。本図には、新藤（1980）の電気探査による水文地質上の基盤標高分布曲線も記入され、標高を斜字体数字で表す。この図に見られる特徴は以下のとおりである。

本研究による分布曲線と新藤（1980）のそれは、瀬戸山と峰路山間の最短部から東の羽伏浦側と西の前浜側へそれぞれ低下し、その分布に見られる概略的な特徴はよく似ている。しかし、本研究では湾曲の著しい等高線が-60mまで描かれ、緩く傾斜した低まりがより明瞭となる。さらに、潮観山（図4参照）から新島空港北東側へ峰路山ドーム先端の高まりが推定され、両者の曲線が交差するなどの違いも見られる。

東西へ向かう低まりは、氷期の海面低下時に島棚上に浅く刻まれた浸食谷に相当し、東側は新島海底谷、西側は南海（駿河）トラフへ続く浸食谷の最上流にそれぞれ当たる。ただし、新藤（1980）の曲線で水文地質上の基盤標高がより浅くなるのは、大原井戸（19番井の農水3号水源で向山ドームの東40m）の緑色の異質岩片を多く含む標高-7.8m以深の地質を、帯水層になり得る基盤と見なした磯部（1968）の影響も考えられる。

4.2 層厚分布図

表3に掲載した深井戸6本に関する火砕サージ堆積物の厚さ（層厚）は、既知の地盤標高（表1参照）から基底標高（不等号表記）をそれぞれ差し引いて算出され、残りの15本に関する厚さは表1の深度を上回る数値（未確定）である。ただし、砂丘分布域（磯部、1985）の21番井などの層厚の一部には、風成砂が含まれる。

次に、坑井・深井戸・物理探査の36測点に関する火砕サージ堆積物の厚さは、表1-3の地盤標高から表3の基底標高をそれぞれ差し引いて推算できる。全ての測点に係わる層

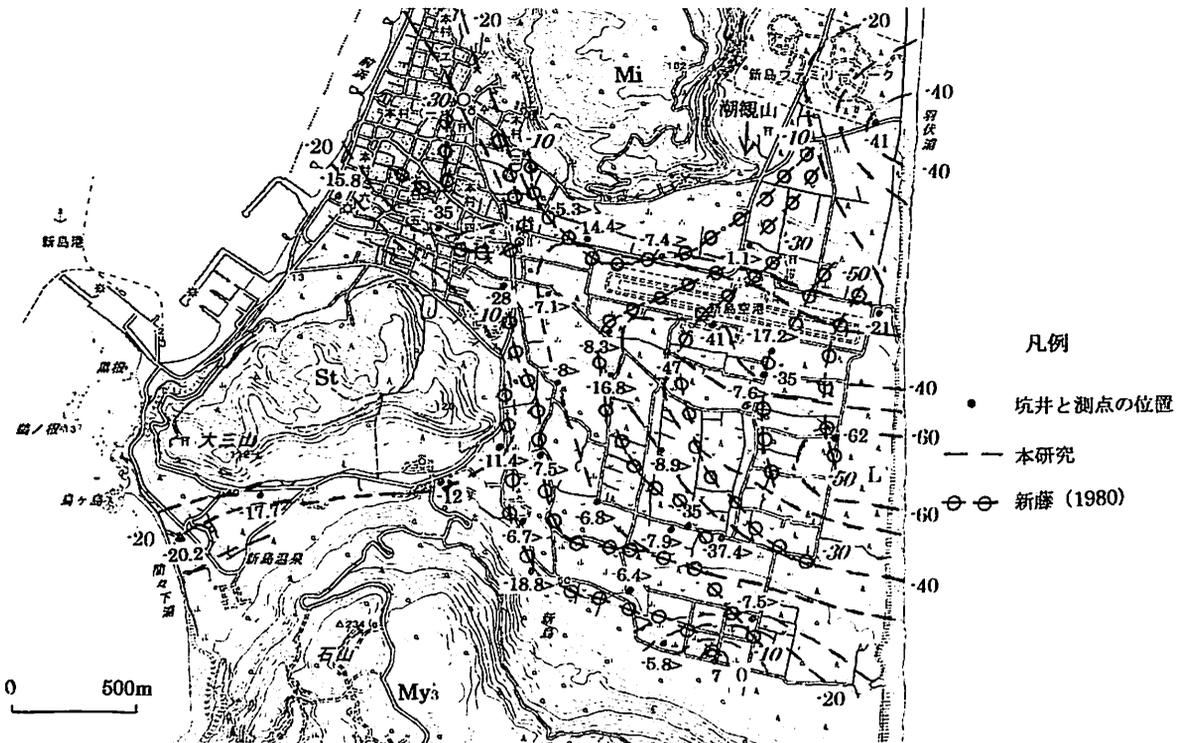


図4 本村の平地における火砕サージ堆積物の基底標高分布図。本研究による破(曲)線と新藤(1980)による鎖状の破線は等基底標高(m)の分布、Lは低まりの位置をそれぞれ示す。

厚の分布曲線を描いたのが図5であり、それらの特徴は以下のとおりである。

前節で述べた平地中央部の低まり(浸食谷)を中心に層厚が大きくなり、羽伏浦側(測点6)での層厚は94mに達し、北西部と南西部では40mと60m前後になる。一方、潮観山の南東側に位置する新島空港東(測点11)と平地南端(測点10)では基底標高がより上昇するために、層厚は小さくなる。

さらに、新島空港の北方1.5km付近の平地(図5北端の檜山地区)では、火砕サージ堆積物の基底標高が海水準を上回り、その厚さも1m未満と極端に薄くなる。このことから、羽伏浦南方の端々(図8参照)付近から放出された火砕サージ堆積物が浅海底を埋めて平坦な陸地を形成する一方、火口から5kmの近さにある檜山では、北へ向かう横段りのサージ物質が既存の火砕丘などの陸地上に留まらず、その大部分が通り過ぎたと推定される。

ところで、火砕サージ堆積物最上部の標高は火口の想定される新島最南端で約90m、最下部の標高は羽伏浦中部の-62mである(図4参照)。その差の約150mが見掛け上の火砕サージ堆積物の厚さに相当し、写真1に示した大峰の火砕丘の頂上と下底の比高(後述の図7では約200mと表現)より小さい。ちなみに向山火山全体の火砕物の厚さは360mに達する。

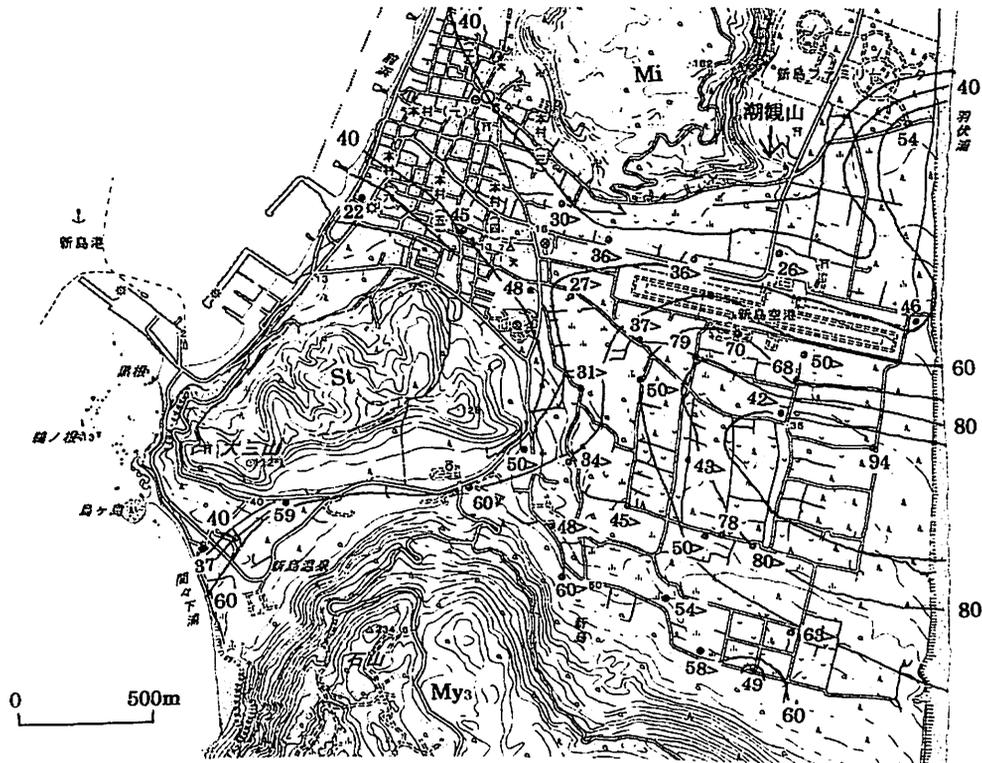


図5 平地での火砕サージ堆積物の層厚分布図。地層の厚い地域は図4の低まり（浸食谷）に一致する。層厚の単位はm。

5. 中央部における平地発達の背景

5.1 硬石の埋没状況

3.3節で硬石について述べたが、本節ではより詳しく報告する。図3の測点3・5・8・9における上向きの矢印は、S波速度が1,000m/sを大幅に超える硬石の上端に当たる標高を各々示す。その中で、測点9は標高-168m前後と最も浅く、測点3は標高-278m以下へ深くなる。ここで、五つの測点について硬石上端の標高を表現したのが図6である。

本図では、硬石の分布する南北約1.5km、東西約1kmの範囲を短い破線で囲み、軟石からなる測点2・6・7・10・11がそれを取り巻く。なお、瀬戸山 (St) と峰路山 (Mi) の両ドームは海面下では長い破線で示すような範囲まで拡大し、両ドーム間の距離は低地中央部と北西部の境界（分水嶺）においてより接近する。

さらに、中央部にある温泉井1、測点4・9・10の南北方向の通過断面を、垂直を水平の2.5倍に誇張して図7に示す。平地の表層部は火砕サージ堆積物、その下方はS波速度が1,000m/s以下の軟石、より深部は上方へ凸型をなす硬石からそれぞれなる。硬石は現在の応力場とは異なったテクトニクス下において軟石に貫入した溶岩と推定され、伏在ドームの可能性が高い。

図7には温泉井1の地質柱状図（磯部・中島、2001）を大幅に見直した結果が示されている。すなわち、峰路山溶岩が緑色火砕岩を含む軟石に大規模に貫入し、両者は垂直近く

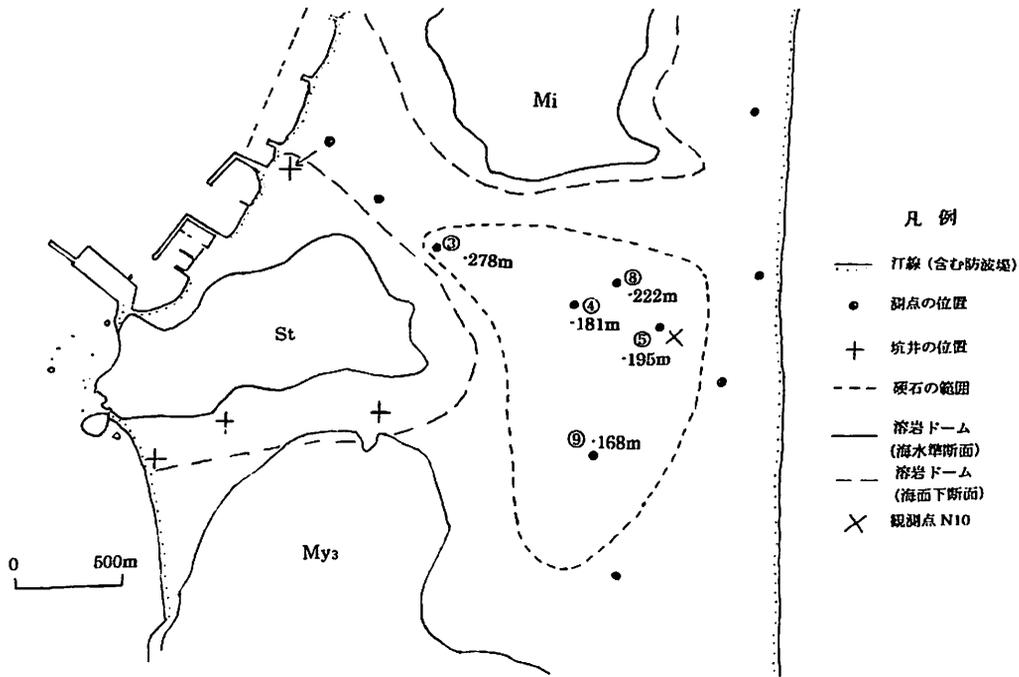


図6 硬石上端の標高分布図。ただし、図中の“⑨-168m”の表現は“測点9の標高-168m”に硬石上端のあることを示し、③・④・⑤・⑧も同様に表現される。硬石を欠く②・⑥・⑦・⑩・⑪は測点の位置のみを示す。+印は瀬戸山溶岩に達した坑井の位置

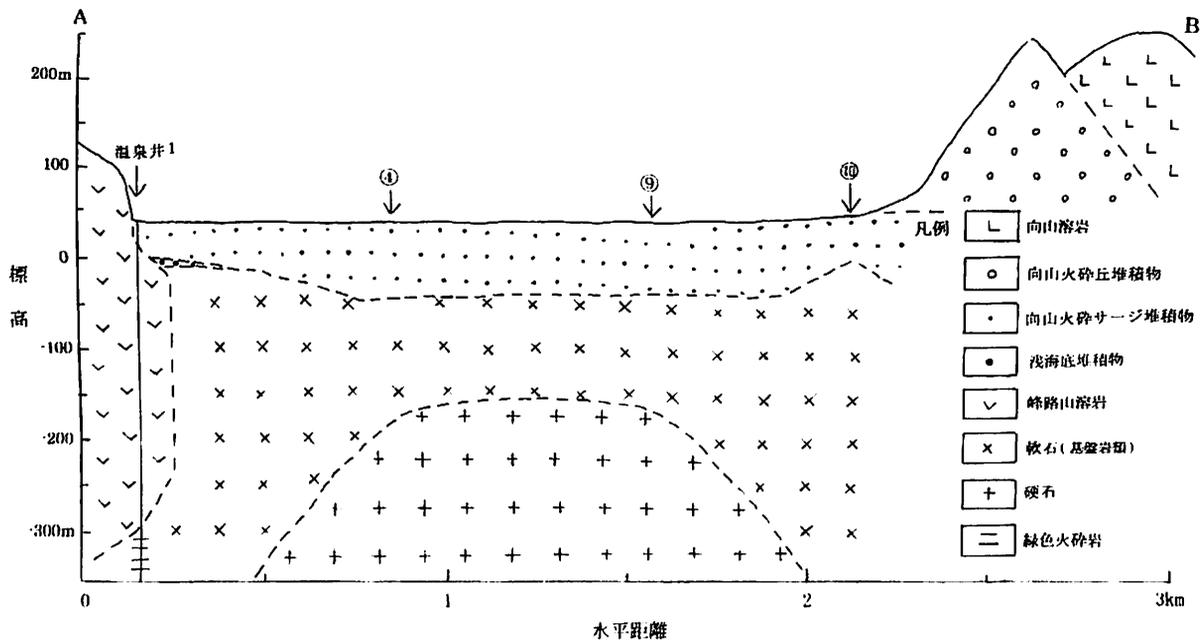


図7 平地中央部縦断の模式地質断面図。断面線の通過位置は図2参照。流紋岩質マグマは、硬石を避け、その周辺から湧出したようにも見える。

に接する。この貫入状況は瀬戸山溶岩などにも適用可能と思われる。

ところで、平地中央部における-350m以深の地震波速度をト部・溝上(1989)による地震波速度構造(図1.6)から推定する。硬石分布域に入る観測点N10では、地表~-750mの地震波速度は1,900m/s、-750~-1,500mでは2,800m/sへ増加し、深部ほどより緻密で硬い岩石になっている。ただし、本地震探査は羽伏浦南部から宮塚山西岸(アジア磯)に至る長さ6.4kmのA測線上(両端に爆破点)の観測点N10を含む27点でより大規模に実施された。

5.2 硬石の存在する中央部とドームからなる周辺山地

平地中央部の西側を限る瀬戸山(St)と北側を限る峰路山(Mi)は図8のⅡ列上に後期更新世に、南側を限る向山(My₃)はⅢ列上に9世紀後半にそれぞれ出現した溶岩ドームである。Ⅱ列やⅠ列は地殻が引き裂かれて流紋岩質マグマの上昇しやすい銭洲海嶺の伸長方向、Ⅲ列はフィリピン海プレートの移動に伴う主応力軸の方向に各々一致し(磯部、2019)、前者のⅡ列上には少なくとも7個、後者上には4個のドームが並ぶ。

Ⅰ~Ⅲ列は地下深くに埋没する硬石と漁礁のキリトアサラ(岩質不明)から大きく外れる(図8)。この分布上の特徴から、複数のマグマが両岩体を避けてⅡ・Ⅲ列上の軟石などからなる陸地や浅海底(島棚)に湧出した可能性があり、新たに溶岩の噴出しなかった中央部は低い平地のまま、溶岩ドームの出現した周辺は高い山地をなし、高度差が生じたと考えられる。

中央部では、最終氷期の海面低下期に浸食された変質火山岩類などの基盤岩からなる島棚が後氷期の急速な海面上昇によって水没し、その後厚さ約100mの火砕サージ堆積物によって浅海が埋められ、平坦地が大規模に出現したと推定される。

上述した微動アレー探査や電気探査の物理探査手法では、試料を採取せずに物性のみから地下地質が推測されたもので、平地中央部の中心付近では火砕サージ堆積物の基底に達した坑井はこれまでに報告されていない。今後深井戸の適正な水質を維持しつつ、測点9・10周辺などでの掘削により、火砕サージ堆積物の下限の確認と基盤岩の採取・解析の実施されることを強く希望する。

6. おわりに

新島最大の平地における26坑井に係わる4種類の掘削資料と微動アレーによる11測点の物理探査資料から火砕サージ堆積物の厚さと平地発達の背景について検討した結果は以下のとおりである。

- 1) 平地表層部をなす向山噴火による火砕サージ堆積物の広がり36地点について明らかになり、基底標高分布図と層厚分布図がそれぞれ作成された。浅い浸食谷が羽伏浦側と前浜側から峰路山と瀬戸山の最短部へ向かって伸び、海底谷の最上流部をそ

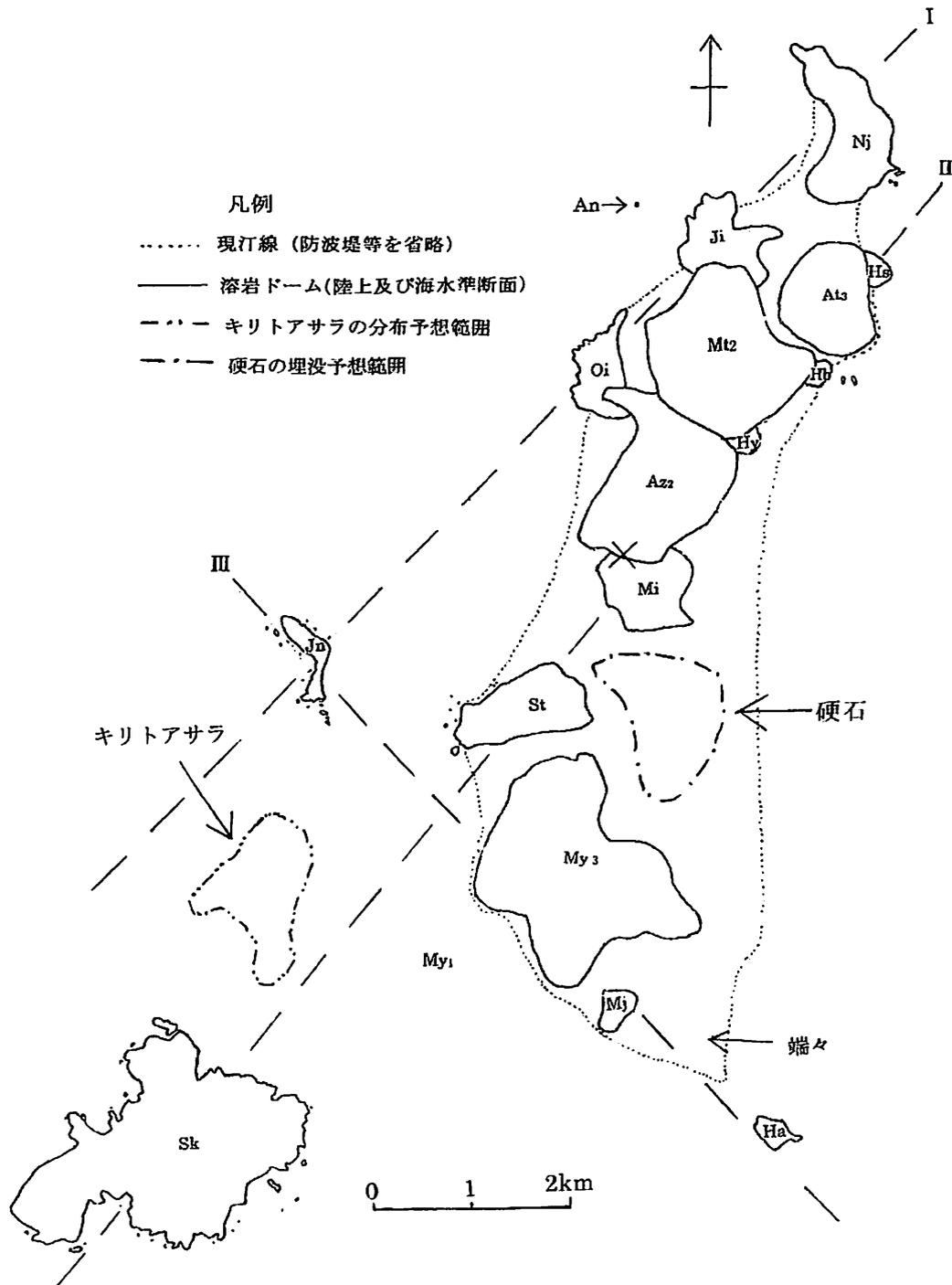


図8 新島地域における16個の溶岩ドームと南北へ伸びた二つの古い岩体の分布図。磯部 (2019) の図8へ硬石の埋没範囲とキリトアサラの分布予想範囲 (東京都資料の編集) を追加する一方、火砕物の分布範囲を省略した。ただし、ドームは海水準および陸上での規模を示し、海面下へ達するドームは本図以上に拡大する可能性が高い。×印は富士見峠の位置。

れぞれ形成する。最大層厚は中央部の羽伏浦側で約100mに達し、集落のある北西部では厚さ40m前後になる。

- 2) S波速度が1,000m/sを超える硬石が標高-168m以深で南北約1.5km、東西約1kmの範囲に埋没する。瀬戸山・峰路山・向山の三つの溶岩ドームでは、マグマが硬石を避けてより湧出しやすい島棚に2列に分かれて出現した可能性が高く、硬石のある平地中央部は後期更新世以新のドームを欠くために平地をなしたと考えられる。

謝辞

本稿の作成に当たり、東京大学大学院新領域創成科学研究科徳永朋祥教授から新島微動アレー探査報告書を頂戴し、産業技術総合研究所地質調査総合センターの吉見雅行博士から微動アレー探査結果の解釈についてご教示を頂いた。さらに、新島村役場・新島村博物館の職員と多くの方々に取りまとめへの協力を賜った。記して謝意を表します。

参考文献

- 磯部一洋 (1968) : 新島大原井戸地質調査報告書. 新島本村役場, 14p. (謄写印刷)
- 磯部一洋 (1985) : 伊豆新島における風成砂丘. 日本地理学会予稿集, (27) , 78-79.
- 磯部一洋 (1996) : 地勢と海洋. 新島村史通史編, 1-54.
- 磯部一洋 (2016) : 展示標本に見る地質年代の若返りと新島の基盤について. 平成26年度新島村博物館年報, 21-29.
- 磯部一洋 (2019) : 海面変動下での新島単成火山群の形成について. 平成30年度新島村博物館年報, 28-58.
- 磯部一洋・中島 礼 (2001) : 伊豆新島南部の火砕物から採取された貝化石と基盤岩. 地質調査所月報, 52 (1) , 41-48.
- 磯部一洋・中島 礼 (2008) : 新島村の道-その形成と自然条件-. 地質調査総合センター研究資料集, (482) , 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- 一色直記 (1987) : 新島地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1図幅) , 地質調査所, 85p+地質図
- 伊藤順一・中川節也・齋藤公一滝 (2011) : 新島のボーリングコア. 気象庁火山観測点ボーリングコアの解析-成果報告書-. 気象庁, 285-292.
- ジオックスコンサルタント (2016) : 東京都新島微動アレー探査報告書, 28p.
- 日本熱水開発株式会社 (1995) : 若郷温泉掘削工事報告書, 7 p+図11p他.
- 新藤静夫 (1980) : 火山島における地下水の収支に関する研究-伊豆七島を例として-. 昭和53・54年度文部省科学研究費一般研究 (B) , 143p.
- 卜部 卓・溝上 恵 (1989) : 地震探査. 伊豆諸島における火山噴火の特質等に関する調査・研究報告書 (新島・式根島編, 63p) , 東京都防災会議, 29-34.