

北海道古宇郡神恵内村
文献調査報告書

噴火に関する説明書

2024年11月

原子力発電環境整備機構

2024年11月 発行 原子力発電環境整備機構

本資料を利用する際は出典を記載してください。出典の記載方法は以下のとおりです。編集・加工等して利用する際には、以下の出典表記とは別に編集・加工等を行ったことを記載してください。

(出典の記載例)

原子力発電環境整備機構（2024）北海道古宇郡神恵内村文献調査報告書

また、第三者（原子力発電環境整備機構以外のものをいいます。以下同じ。）の著作物が含まれる場合（例えば、原子力発電環境整備機構が第三者の図表等を用いて転載・編集・加工等している図表等）には、別途、第三者からの許諾が必要になることがあります。利用者の責任において、第三者が権利を有している部分を確認し、当該第三者から利用の許諾を得てください。

上記は、著作権法上認められている引用などの利用について、制限するものではありません。

目次

第1章 調査・評価の考え方	1
1.1 調査のよりどころ	1
1.1.1 文献調査計画書	1
1.1.2 「考慮事項」	1
1.1.3 「文献調査段階の評価の考え方」	2
1.2 評価の考え方	3
1.2.1 第四紀の火山活動による火山噴出物であることの確認	4
1.2.2 地質の観点から第四紀に貫入，噴出した火道，岩脈等と判断するもの	4
1.2.3 地形の観点から第四紀に貫入，噴出した火道，岩脈等と判断するもの	5
1.2.4 火山の活動中心の確認	5
1.2.5 現在，メルトが存在する可能性の確認	5
1.3 調査の進め方	5
第2章 文献・データの収集・情報の抽出	8
2.1 収集対象範囲	8
2.2 収集・抽出の観点	9
2.3 抽出結果	10
第3章 火山・火成活動および地熱・熱水活動の概要	11
3.1 第四紀における火山活動	11
3.1.1 北海道の火山・火成活動	11
3.1.2 西南北海道の火山活動史と分布の規則性	12
3.1.3 西南北海道の応力場	13
3.1.4 文献調査対象地区周辺の第四紀火山	13
3.2 地熱・熱水活動	17
3.2.1 鉱床および熱水変質帯	17
3.2.2 泉温および地温・地温勾配	20
3.2.3 噴気	24
3.2.4 地下水の pH	24
第4章 評価に必要な知見の整理	27
4.1 既知の第四紀火山	27
4.1.1 検討方法	27
4.1.2 個々の火山に関する整理	29
4.2 その他の火山活動	36
4.2.1 第四紀の活動の可能性が指摘されている火山	37
4.2.2 噴出時期が明らかでない火成岩類	42
4.2.3 貫入岩・岩脈	62
4.3 新たな火山が生じる可能性	77
4.3.1 火成活動のメカニズム	77
4.3.2 地殻～マントル最上部におけるメルトの存在	78

4.3.3 マントルウェッジにおけるメルトの生成と移動.....	91
第5章 基準に照らした評価.....	94
5.1 マグマの貫入等による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約 258 万年前 まで）における火山活動に係る火道，岩脈，カルデラ等の履歴.....	95
5.2 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね 15 km 以内.....	95
5.3 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても，新たな火山が生じる可能性.....	96
5.4 概要調査に向けた考え方.....	97
引用文献	99

目次

図 1.3-1	噴火に関する説明書の構成	7
図 2.1-1	収集対象範囲	9
図 3.1-1	東北日本のプレート配置と火山フロント	11
図 3.1-2	新生代の各ステージにおける西南北海道の火山岩分布（広瀬ほか，2000）	12
図 3.1-3	文献調査対象地区周辺の第四紀火山の分布	14
図 3.1-4	後志海山および二子海丘の分布	17
図 3.2-1	文献調査対象地区周辺の鉱床および熱水変質帯の分布	19
図 3.2-2	文献調査対象地区の坑井分布	20
図 3.2-3	文献調査対象地区周辺の泉温分布	21
図 3.2-4	文献調査対象地区周辺の地温勾配分布	23
図 3.2-5	坑井における温度プロファイルの例	24
図 3.2-6	文献調査対象地区周辺における地下水の pH 分布	25
図 4.1-1	5 万分の 1 地質図幅による積丹岳周辺の火山噴出物の分布	30
図 4.1-2	5 万分の 1 地質図幅による地質層序（積丹岳）	31
図 4.1-3	積丹地域地質図による積丹岳周辺の火山噴出物の分布	32
図 4.1-4	積丹地域地質図による地質層序（積丹岳）	33
図 4.1-5	積丹岳南方地すべり（山岸・石井，1979）	34
図 4.1-6	積丹岳周辺の個々の噴出・貫入地点の分布	35
図 4.1-7	積丹岳の地形判読結果	36
図 4.2-1	5 万分の 1 地質図幅による熊追山周辺の火山噴出物の分布	38
図 4.2-2	5 万分の 1 地質図幅による地質層序（熊追山）	39
図 4.2-3	積丹地域地質図による熊追山周辺の火山噴出物の分布	40
図 4.2-4	積丹地域地質図による地質層序（熊追山）	41
図 4.2-5	5 万分の 1 地質図幅による稲倉石山・天狗岳・湯内岳周辺の火山噴出物の分布	45
図 4.2-6	5 万分の 1 地質図幅による地質層序（稲倉石山・天狗岳・湯内岳）	46
図 4.2-7	積丹地域地質図による稲倉石山・天狗岳・湯内岳周辺の火山噴出物の分布	47
図 4.2-8	積丹地域地質図による地質層序（稲倉石山・天狗岳・湯内岳）	48
図 4.2-9	5 万分の 1 地質図幅による地質層序（その他の火成岩類）	50
図 4.2-10	積丹地域地質図による地質層序（その他の火成岩類）	55
図 4.2-11	沿岸の海の基本図による層序（沿岸海域の火成岩類）	57
図 4.2-12	沿岸の海の基本図による海域の火成岩類の分布	58
図 4.2-13	積丹半島付近海底地質図による層序（沿岸海域の火成岩類）	59
図 4.2-14	積丹半島付近海底地質図による海域の火成岩類の分布	60
図 4.2-15	神威海脚から積丹半島北方沖を横断する反射断面（岡村・佐藤，2023）	61
図 4.2-16	神恵内堆とその東側に広がる火山体を横断する反射断面（岡村・佐藤，2023） ..	62
図 4.2-17	積丹地域地質図による第四紀の貫入岩・岩脈の分布および年代測定値	63
図 4.2-18	貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈の分布（5 万分の 1 地質図幅）	64
図 4.2-19	貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈の分布（積丹地域地質図およびニセコ地域地	

熱地質編図)	67
図 4.2-20 その他の文献に示される貫入岩・岩脈の分布	70
図 4.2-21 Yamagishi (1981)に示される岩脈	71
図 4.2-22 山岸・積丹団研グループ (1979) に示される岩脈	72
図 4.2-23 菊池・渡辺 (1954) に示される脈岩	73
図 4.2-24 第四紀の活動でないことが明らかな貫入岩・岩脈の分布 (5 万分の 1 地質図幅)	74
図 4.2-25 第四紀の活動でないことが明らかな貫入岩・岩脈の分布 (積丹地域地質図)	76
図 4.3-1 東北日本における流体の移動経路に関する概念図 (長谷川ほか, 2004)	78
図 4.3-2 北海道におけるキュリー点深度等深線図	79
図 4.3-3 文献調査対象地区周辺の地殻熱流量分布	80
図 4.3-4 文献調査対象地区周辺の震源分布	81
図 4.3-5 文献調査対象地区周辺の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布	82
図 4.3-6 文献調査対象地区周辺の Li/Cl 分布	83
図 4.3-7 北海道における地下水の水素・酸素同位体比	85
図 4.3-8 文献調査対象地区周辺における P 波速度偏差の分布	87
図 4.3-9 文献調査対象地区周辺における S 波速度偏差の分布	88
図 4.3-10 文献調査対象地区周辺における V_p/V_s の分布	89
図 4.3-11 文献調査対象地区周辺の地震波速度断面図	90
図 4.3-12 北海道における P 波速度偏差の分布	93
図 5.3-1 基準に照らした評価の対象とそのおおよその位置	96

表目次

表 3.1-1 積丹岳の概要	15
表 3.1-2 赤井川カルデラの概要	15
表 3.1-3 ニセコ・雷電火山群の概要	16
表 3.2-1 文献調査対象地区の坑井における泉温	22
表 3.2-2 文献調査対象地区の坑井における地温勾配および地温	23
表 3.2-3 文献調査対象地区の坑井における地下水の pH	26
表 4.1-1 地形判読の判読基準	28
表 4.2-1 第四紀の活動を否定できない火成岩類 (5 万分の 1 地質図幅)	43
表 4.2-2 第四紀の活動を否定できない火成岩類 (積丹地域地質図)	44

添付資料

添付資料 A 情報を抽出した文献・データのリスト

第1章 調査・評価の考え方

1.1 調査のよりどころ

本説明書は、文献調査の項目のうちの噴火に関する説明書である。噴火に関する調査のよりどころは以下のとおり。

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（以下、最終処分法という。）に基づき、文献調査開始に当たって原子力発電環境整備機構が2020年に公表した「北海道古宇郡神恵内村 文献調査計画書」（以下、文献調査計画書という。）に従って調査を進めた。その間、原子力規制委員会（2022）の「特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」（以下、「考慮事項」という。）が公表され、科学的特性マップ策定時の考え方¹および「考慮事項」などを参照して最終処分法の要件を具体化した経済産業省資源エネルギー庁（2023）の「文献調査段階の評価の考え方」（以下、「文献調査段階の評価の考え方」という。）が策定されており、これらに基づいて調査・評価を行った。

それぞれの概要は以下のとおりである。なお、最終処分法については文献調査報告書の4.1.1（1）に示したとおりである。

1.1.1 文献調査計画書

噴火については評価する要件として「火山・火成活動など」があり、その評価に用いる情報の例として、「第四紀の火山、火口の存在」、「火山噴出物や貫入岩の分布・年代」、「火山周辺の地温」および「地下水の酸性度など」が示されている。また、評価に用いる主要な文献・データとして、以下が示されている。

- ・ 日本の火山（第3版）（中野ほか編，2013）
- ・ 日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）
- ・ 全国地熱ポテンシャルマップ（村岡ほか，2009）
- ・ 日本の火山データベース（産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ a）
- ・ 札幌地熱資源図（玉生ほか，2001）

1.1.2 「考慮事項」

噴火については「2. 火山現象」として以下のとおり示されている。これらは、概要調査地区等の選定時において、それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮されるべきであるとされている。

¹ 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術WG（以下、地層処分技術WGという。）（2017）。

「考慮事項」の「2. 火山現象」について

次に掲げる場所を避けること。

- ① マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約 258 万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈等の履歴が存在する場所
- ② 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね 15 キロメートル以内の場所
- ③ 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる可能性のある場所。ここで、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は今後 10 万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、新たな火山が生じる可能性について検討すること。

1.1.3 「文献調査段階の評価の考え方」

噴火については、マグマの貫入と噴出の基準および基準への該当性の確認の仕方が以下のとおり示されている。

この基準の対象としなかった地熱活動（非火山性を含む）、火山性熱水や深部流体の移動・流入については、技術的観点からの検討として好ましい地質環境特性の観点から検討するとされている。

マグマの貫入と噴出の基準

最終処分法第六条第二項の第一号及び第二号に対して、以下に該当することが明らかまたは可能性が高い場所を避ける。

- (ア) マグマの貫入等^Aによる人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約 258 万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈、カルデラ等の履歴が存在する。

同第二号に対して、以下に該当することが明らかまたは可能性が高い場所を避ける。

- (イ) 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね 15 キロメートル以内。
(ウ) 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる。

^A マグマの貫入を伴わない水蒸気噴火

マグマの貫入と噴出の基準への該当性の確認の仕方

- 第四紀の火山活動
地質図等の資料に記載される火山噴出物の年代測定データ及び層序等に基づいて、第四紀火山及びその活動に伴う噴出物であることを確認する。
- マグマの貫入等による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約 258 万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈、カルデラ等の履歴
第四紀にマグマが噴出・貫入した場所や水蒸気噴火が生じた場所を直接的に示すものとして、地質の観点から火道、貫入岩、岩脈、シル及びそれらを指すもの^A、地形の観点からカルデラ、火口及びそれらを指すもの^Bを対象とする。

○ 第四紀に活動した火山の活動中心

文献・データ^Cに示された火道・火口等の情報に基づき、活動中心の位置を定める。活動中心とする妥当性が十分に得られない場合は、概要調査段階以降に判断する。

○ 新たな火山の発生

プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は今後 10 万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、火山の発生メカニズムに関する地域性の観点から、現在マグマの発生条件が成立していることが否定できない場合、以下を行う。

文献調査対象地区下の地殻及びマントル最上部にメルトが存在する可能性を地球物理学的、地球化学的な観測データ^Dを用いて評価する。

将来、より深部から地殻にメルトが貫入する可能性については、「現時点においてマグマの発生条件の成立を否定できない地域について、新たな火山の発生の蓋然性を評価する場合には、マントルウェッジの対流や沈み込む海洋プレートの特性等を加味した評価モデル等の構築によって評価することが考えられるが、研究段階であり、現時点においては確立された評価方法は見当たらない^Eとされていることから、関連する情報^Fを整理しておく。

^A 文献によって、岩床、フィダーダイク等と記載されている場合がある。

^B 文献によって、爆裂火口、火口列等と記載されている場合がある。

^C 科学的特性マップ（図の精度は縮尺 200 万の 1 程度）においては、第四紀火山の中心から 15km の好ましくない範囲を描画するに当たって、全国規模で利用可能な文献・データである「日本の火山（第 3 版）」および「日本の第四紀火山カタログ」の情報を用いて火山の中心を設定している。日本の火山（第 3 版）では、火山の中心の位置は示されておらず、「火山を代表する位置（最高標高点）が示され（中略）日本の第四紀火山カタログでは多くの火山について主火道の位置等の情報をもとに火山中心の位置を評価・特定している」とされている。一方で、これらの文献に示されている火山の位置については、設定した根拠、理由等が必ずしも詳細には説明されていないため、文献調査においてはこれらの文献に加えて、個別の研究論文等を調査し、火道・火口等の情報を詳細に評価するものとする。

^D 例えば、地殻熱流量、地震波速度構造、比抵抗構造、ヘリウム同位体比、低周波地震、地震波減衰構造の観測データ。

^E 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第 3 回目）－火山の専門家への意見聴取結果－2022 年 5 月 18 日 原子力規制庁。

^F 例えば、マントルウェッジにおける脱水・溶融の数値シミュレーションや現在の高温域・流体分布に係る不均質構造等が挙げられる。

1.2 評価の考え方

文献調査対象地区の噴火に関連する事項として、「文献調査段階の評価の考え方」に示された基準（ア）、（イ）、（ウ）および基準への該当性の確認の仕方（1.1.3 参照）に従って評価する。

（ア）については、文献調査対象地区内に分布する第四紀の火道、岩脈、カルデラ等を整理し、避ける場所の評価を行う。（イ）については、文献調査対象地区からおおむね 15 km 以内に分布する第四紀の火山や噴出物を確認し、火道、火口等の情報に基づいて火山の活動中心を定め、その中心から半径 15 km 以内を避ける場所として評価する。（ウ）については、まず、文献調査対象地区での新たな火山の発生に関与する現象として、現在におけるマグマの発生条件の成立性について、火山の発生メカニズムに関する地域性の観点から確認を行う。これを明確に否定できると判断される場合は、以降の評価は行わない。一方、現在におけるマグマの発生条件の成立性を否定できないと判断される場合は、文献調査対象地区下の地殻およびマントル最上部に現在、マグマが存在する可能性を評価する。マグマの存在を示唆する情報として、地下深部の温度構造や地下水等の化学特性、

地下深部の物理特性に関する情報を確認し、総合的に評価する。これらは、既存の文献に示される情報等に基づき、以下に示す考え方によって必要な事項を確認することで行う。

なお、2009年に国際地質科学連合(IUGS)によって第四紀の始まり(下限)が約180万年前から約260万年前(本説明書では、「文献調査段階の評価の考え方」に従い約258万年前とする)に変更されたことから、2009年以前に発行された地質図等の文献において「鮮新世」に区分されている地層・岩体は、第四紀に区分される可能性があることを前提として分析を行った。本説明書では、2009年以前の定義に基づく、第四紀、更新世、鮮新世などの時代区分に*を補記することとし、例えば、「第四紀*」、「更新世*」、「鮮新世*」のように表記する。2009年以降の定義に基づく時代区分については補記をせず、「第四紀」、「更新世」、「鮮新世」のように表記する。

1.2.1 第四紀の火山活動による火山噴出物であることの確認

「日本の第四紀火山カタログ」(第四紀火山カタログ委員会編, 1999)あるいは「日本の火山 第3版」(中野ほか編, 2013)において第四紀火山であることが認定されており、その火山噴出物の年代測定データおよび層序等に基づいて、活動時期が第四紀に及ぶことが確認できるものを第四紀火山とする。

また、第四紀火山であることが認定されていない火山に由来する火山噴出物、または給源とする火山が明らかでない火山噴出物については、その年代測定データおよび層序等に基づいて、第四紀に噴出したことが確認できるものを第四紀の活動による火山噴出物とする。具体的には、以下の両者に該当する場合、「明らかまたは可能性が高い」とする。

- ・ 対象とする地層(火山噴出物)において、年代測定値が文献によって示されており、第四紀に噴出したことに対して相反する見解²が認められない。
- ・ 対象とする地層(火山噴出物)の噴出時期が第四紀であることが、明確な根拠³に基づく層序によって示されており、これに相反する見解が認められない。

1.2.2 地質の観点から第四紀に貫入、噴出した火道、岩脈等と判断するもの

第四紀に形成された地層に貫入したことを示す火道、岩脈等、あるいは年代測定値に基づいて第四紀に噴出したことが確認できる火道、岩脈等を基準(ア)に該当する「地質の観点から火道、貫入岩、岩脈、シル及びそれらを指すもの」とする。具体的には、以下のいずれかに該当する場合、「明らかまたは可能性が高い」とする。

- ・ 第四紀に形成された地層に貫入した火山噴出物であることが、明確な根拠⁴に基づく層序によって示されており、これに相反する見解⁵が認められない。
- ・ 対象とする火山噴出物において、年代測定値が示されており、第四紀に貫入あるいは噴出したことに対して相反する見解⁵が認められない。

² 既往の文献による指摘、データおよびNUMOによる推定を含む。

³ 例えば、対象とする地層(火山噴出物)やその上位層、下位層の形成年代。

⁴ 例えば、母岩の形成年代に関する年代測定データ、貫入に伴い母岩との接触部で観察される特徴等の記載。

⁵ 既往の文献による指摘、データ及びNUMOによる推定を含む(例えば、被覆する地層がある場合はその形成時代・年代)。

1.2.3 地形の観点から第四紀に貫入、噴出した火道、岩脈等と判断するもの

第四紀の火山噴出物の分布域に位置する火口等、あるいは第四紀の火山活動により形成されたことが確認できるカルデラを基準（ア）に該当する「地形の観点からカルデラ、火口及びそれらを指すもの」とする。具体的には、以下のいずれかに該当する場合、「明らかまたは可能性が高い」とする。

- ・ 火山地形の観点に基づいて示されていることが確認できる⁶。
- ・ 第四紀に形成されたカルデラであることが、明確な根拠⁷に基づいて示されており、これに相反する見解⁸が認められない。

1.2.4 火山の活動中心の確認

火山の活動中心は、調査で収集・整理した火道・火口の情報に基づき、活動中心の位置としての妥当性を総合的に検討して評価する。例えば、噴出量、活動形式、山体形状などとの整合性を検討する。

また、基準（ア）の履歴が（イ）の範囲に収まることを確認する。（イ）の範囲に収まらない履歴が確認された場合は、岩脈発達の方向性、活動期の区分や活動場の変遷等を考慮して避けるべき範囲を評価する。

これらの評価に十分な情報が得られない場合には、概要調査以降の調査で避けるべき範囲を判断する。

1.2.5 現在、メルトが存在する可能性の確認

火山地域と同様に、以下の特徴がそれぞれの観点で認められ、それらの場所が概ね整合的であり、これに相反する見解が認められない場合に、可能性が高いと評価する。

- ・ 地下温度構造に関する情報より、周囲に比べて高温の領域であることを示唆する特徴（例えば、高温を示すデータのピークが位置する）が複数種の情報に認められる。さらに、その位置が概ね整合的であり、これに相反する見解が認められない。
- ・ 地下水等の化学特性に関する情報より、マントル起源流体の供給を示唆する特徴（例えば、火山地域と同等の値が観測されている）が複数種の情報に認められる。さらに、その位置が概ね整合的であり、これに相反する見解が認められない。
- ・ 地下深部の物理特性に関する情報より、流体の存在を示唆する特徴（例えば、顕著な地震波低速度体が認められる）が複数種の情報に認められる。さらに、その位置が概ね整合的であり、これに相反する見解が認められない。

1.3 調査の進め方

文献調査対象地区およびその周辺地域の噴火に係る文献・データを収集し、評価に必要なとなる情

⁶ 地形判読に基づく火山地形のほか、「日本の火山第3版」に示されるカルデラリム（「基本的に直径5 km以上のカルデラ地形のみを示した」と記載されている）。

⁷ 例えば、カルデラ周辺における火山活動履歴。

⁸ 既往の文献による指摘、データおよびNUMOによる推定を含む。

報を抽出する。文献・データの収集に当たっては、文献調査計画書に示した主要な文献・データに加え、公的研究機関が公表している文献・データ、学術雑誌に公表されている論文を収集し、さらに学術雑誌に公表されている論文を収集するため、文献データベースで検索を行い収集する。また、収集した文献から情報の抽出を行うに当たっては、火山活動の履歴、地下温度、地下水の化学特性などの観点から情報の抽出を行う。なお、地熱活動（非火山性を含む）および火山性熱水や深部流体の移動・流入については評価の対象としないが、これらに関連する情報も抽出する。第2章では、これらの文献・データの収集対象範囲や結果について示す。

第3章では、文献調査対象地区およびその周辺地域の火山・火成活動と地熱・熱水活動について概要を整理する。これには評価の対象とならない情報を含むが、噴火に関連して文献調査対象地区やその周辺地域で生じている現象の概要を示す。

第4章では、「マグマの貫入と噴出」の評価に必要な情報や知見を整理する。基準（ア）および（イ）に必要な情報として、4.1では既知の第四紀火山に由来する火山噴出物等について、4.2ではその他の火山噴出物等について文献・データの分析を行い、第四紀の火山活動に該当するものを抽出・整理する。4.3では基準（ウ）について、まず、現在におけるマグマの発生条件の成立性について示し、地殻およびマントル最上部に現在、マグマが存在する可能性を評価するために必要な情報、数値シミュレーションや不均質構造に関する知見を整理する。

第5章では、第4章で整理した情報や知見をもとに評価を行う。5.1では基準（ア）に係る評価として、文献調査対象地区内を対象に、第4章で抽出・整理した第四紀の火山活動が明らか、または可能性が高いに該当する火道、岩脈、カルデラの分布に基づいて避ける場所を評価する。5.2では基準（イ）に係る評価として、文献調査対象地区およびその周辺地域を対象に、第4章で抽出・整理した第四紀火山の活動中心を火道・火口等の情報に基づいて定めるとともに、その中心からおおむね15km以内を避ける場所として評価する。5.3では、基準（ウ）に係る評価として、マグマの存在を示唆するデータを総合的に考慮し、避ける場所を評価する。第4章と第5章の関係について、図1.3-1に示す。

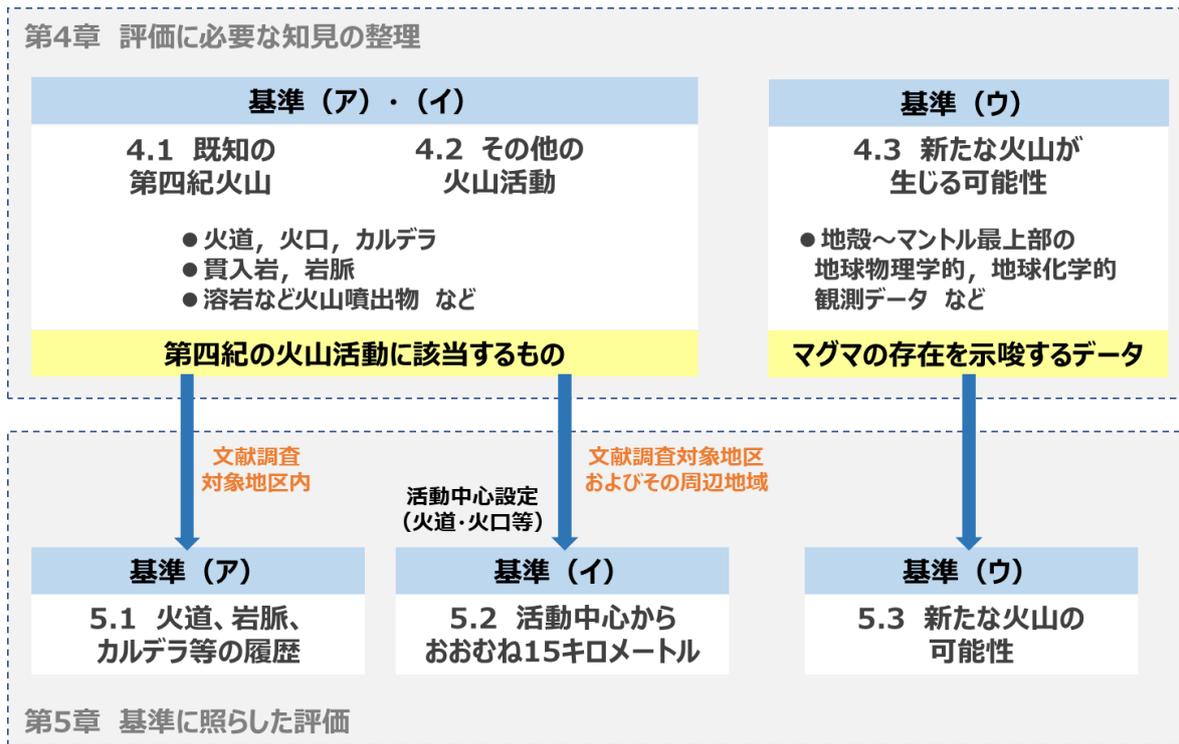


図 1.3-1 噴火に関する説明書の構成

第2章 文献・データの収集・情報の抽出

2.1 収集対象範囲

文献調査対象地区は、文献調査計画書にも記載のとおり、神恵内村全域に加えて沿岸海底下を含めることとしている。

陸域の文献・データの収集対象範囲は、「文献調査段階の評価の考え方」の基準（イ）に示される範囲を踏まえ、神恵内村の行政界からおおむね 15 km の範囲とした。海域の文献・データの収集対象範囲は、「文献調査段階の評価の考え方」の基準（イ）に示される範囲に加えて、沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会（2016）により「地層処分場の地下施設が設置される可能性がある地理的範囲として（中略）沿岸部の海域側は工学的対応の観点から海岸線から 15 km 程度以内を検討範囲の目安とした」と示されていることも踏まえて、神恵内村の海岸線から 30 km 沖合までの範囲とした。

また、火山活動などに伴う熱的または化学的な影響は、火山から数 km 以上の範囲に及ぶこと（例えば、小松・梅田，1999；梅田ほか，1999）、地殻～マントル最上部におけるメルトが存在する可能性の検討に必要な地球物理学的、地球化学的な情報の空間分解能は、測定地点の粗密などに依存して数 km～数十 km である場合がある（例えば、中島，2016 など）。このため、地下水の化学特性、地下構造等に関する情報は、既知の第四紀火山が分布する領域と文献調査対象地区を含む広域的な範囲を対象として収集を行った（図 2.1-1）。

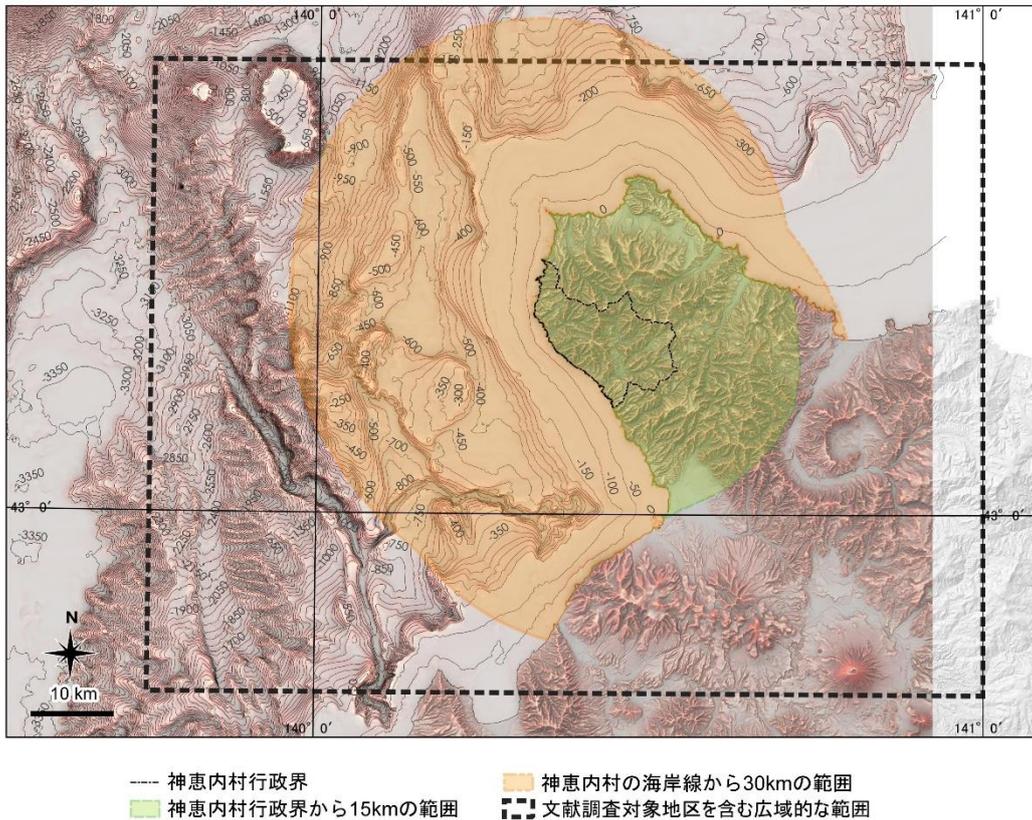


図 2.1-1 収集対象範囲

基図として「地理院タイル（陰影起伏図）」（国土地理院）および「アジア航測：赤色立体地図（陸域は国土地理院数値標高データ，海域は日本水路協会発行 M7000 シリーズ（（一財）日本水路協会承認 第 2021006 号）を使用）」を使用。海域の等深線図は日本水路協会発行「海底地形デジタルデータ（M7009 北海道西部）（（一財）日本水路協会承認第 2021006 号）」を用いて作成（等深線の間隔は 50 m）。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

2.2 収集・抽出の観点

2.1 に示した収集対象範囲において，評価の考え方（1.2 参照）および調査の進め方（1.3 参照）に従った情報の整理や評価に必要な以下の情報が示されている文献を収集し，情報を抽出した。

- ・ 火山活動の履歴
火口・側火山，噴気，岩脈，貫入岩，火山噴出物，火山地形，活動様式・変遷 など
- ・ 熱水活動の履歴
熱水変質帯，熱水鉱床の分布・鉱化年代 など
- ・ 地下温度
泉温，地温・坑井温度，地温勾配 など
- ・ 地下水の化学特性
pH，同位体組成 など
- ・ 地下構造
地震発生層，地震波速度・減衰構造，比抵抗構造 など

- ・ 地殻変動
地殻応力・ひずみ など

2.3 抽出結果

2.1 および2.2 に基づいて収集し、情報を抽出した文献・データを添付資料 A に「情報を抽出した文献・データのリスト」としてまとめた。

また、本説明書において引用している文献・データは、「引用文献」として示した。この引用文献には、一般的な教科書類、原子力規制委員会、地層処分技術 WG などの文献・データも含まれる。なお、「情報を抽出した文献・データリスト」においては1件としている文献・データを、引用箇所を明確にするためにいくつかに分けて扱っている場合もある（例えば、学会編の単行本を著者別のパートに分けるなど）。一方、収集・抽出の観点には該当するが評価に必要と考えられる情報が確認されなかった場合または情報が重複する（例えば、旧版・最新版、引用・被引用文献など）場合など、情報を抽出したリストに示した文献・データでも引用していないものがある。

第3章 火山・火成活動および地熱・熱水活動の概要

3.1 第四紀における火山活動

3.1.1 北海道の火山・火成活動

一般に、地球上の火山活動の分布は地域的に限られており、プレートの沈み込み境界の陸側地帯（島弧、活動的大陸縁）と生産境界（大洋中央海嶺中軸部と大陸内の断裂帯）にその大部分が集中する（下鶴ほか編, 2008）。プレートの沈み込み帯である日本列島では、西南日本の日本海側を除き、陸のプレートの下に沈み込んだ海のプレートからの水の働きによって上部マントルの一部が融けて上昇していき、マグマが形成される。このような過程で形成されたマグマは、一旦地殻内のマグマだまりに蓄えられるなどした後、地表に噴出し、これが島弧の火山になると考えられている（地層処分技術WG, 2017）。東北日本のプレート配置と火山フロントを図 3.1-1 に示す。島弧の火山は海溝にほぼ平行に発達し、明瞭な火山フロントがみられる場合が多く（中島, 2016）、火山フロントより内陸側である背弧域は、多数の火山で特徴づけられる（高橋, 2017）。文献調査対象地区は背弧域に位置しており、その周辺には複数の火山が分布している。

北海道では、北米プレート（またはオホーツクプレート）の下に太平洋プレートが沈み込んでおり、火山フロントが見られる（例えば、野上, 2003）。また、北海道の第四紀火山は、その分布や安山岩の主成分濃度の広域変化から、西南北海道地域、阿寒―知床地域、大雪―十勝―然別地域の三つに分けられ（中川ほか, 1995）、このうち、文献調査対象地区の周辺には西南北海道地域に属する第四紀火山が分布する。

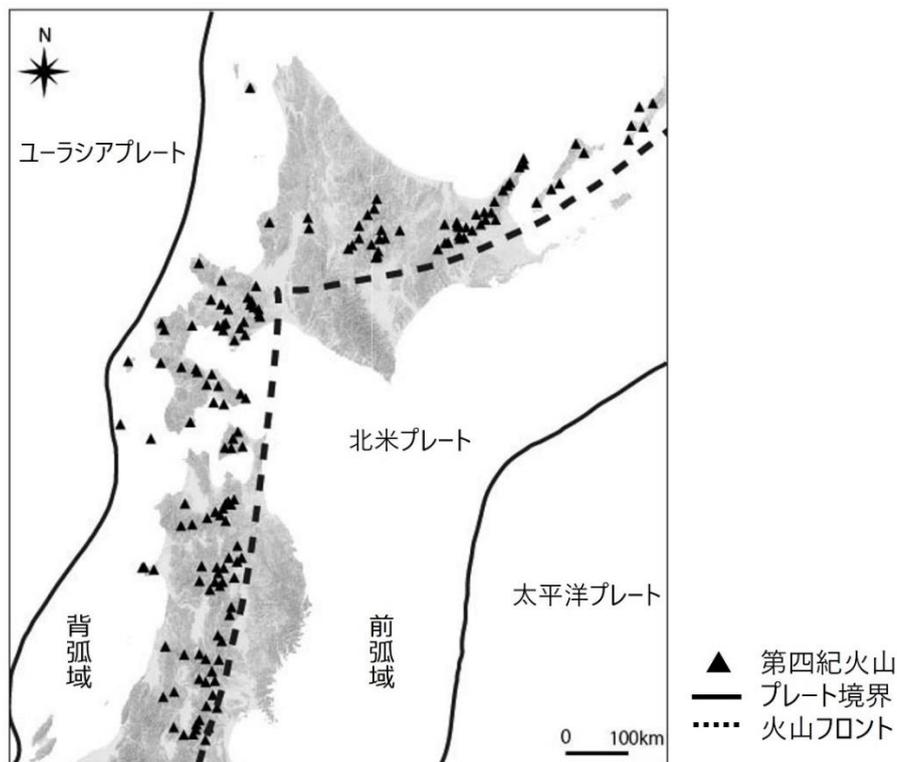
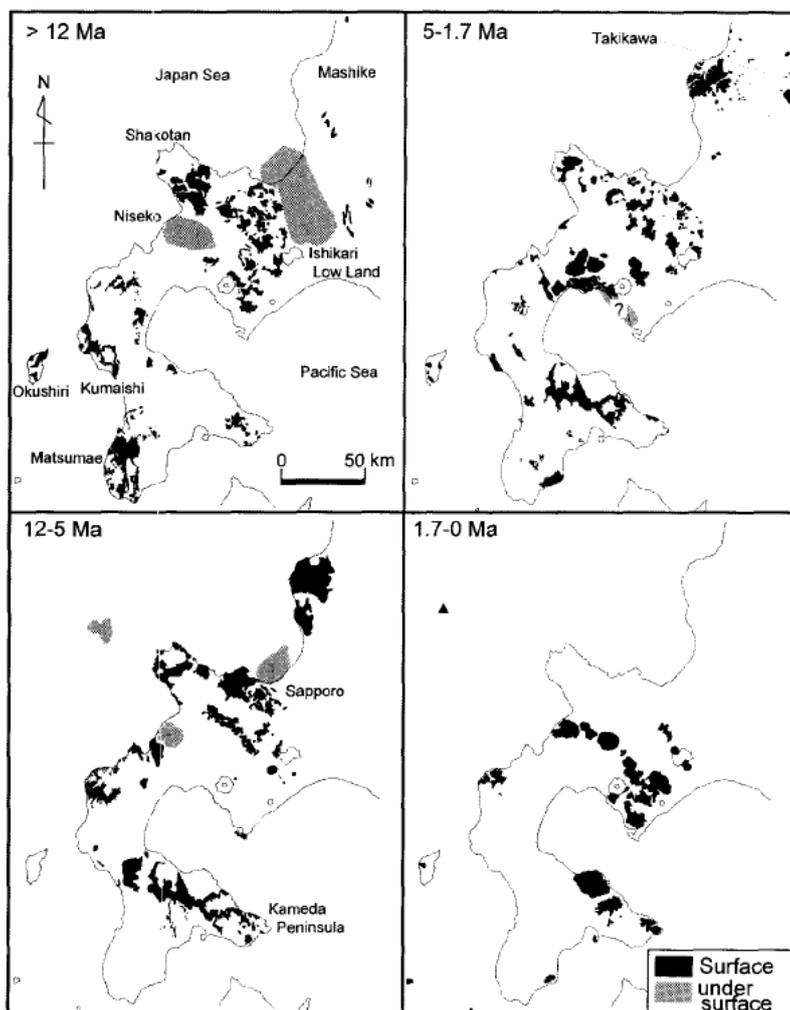


図 3.1-1 東北日本のプレート配置と火山フロント

プレート境界は核燃料サイクル開発機構（1999）、火山フロントは産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ b、第四紀火山は中野ほか編（2013）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。

3.1.2 西南北海道の火山活動史と分布の規則性

文献調査対象地区が位置する西南北海道には前期中新世以降の火山岩類が広く分布する。広瀬ほか(2000)では、この地域における火山活動史が火山岩の時空分布(図 3.1-2)、活動様式および火山岩の化学組成に基づいて推定されている。西南北海道では 12 Ma 頃(Ma: 100 万年前を表す時間の単位)には島弧火成活動が始まっており、伏在火山岩類も含めると火山活動域は本地域全域に及んでいたことを指摘している。また、西南北海道の南半部では、12-5 Ma の火山フロントは現在とほぼ同じ位置にあったこと、5 Ma 以降も各地で引き続いて活発な火山活動が続いたが、1.7 Ma 頃から地域北部の広い範囲で火山活動が停止したことを指摘している。



©日本地質学会

図 3.1-2 新生代の各ステージにおける西南北海道の火山岩分布(広瀬ほか, 2000)

火山分布の特徴については、Tamura et al. (2002)や Watanabe (1990)などによって以下のように指摘されている。Tamura et al. (2002)は、東北地方から西南北海道に至る広域的なスケールでの傾向として、島弧に直交する方向に細長く分布する第四紀*火山の分布域が平均 50 km の幅をもつ 10 個のクラスターに分けられることを指摘し、東北地方北端部から西南北海道地域までの第四紀*火山を 3 個のクラスターに区分している。

また、より詳細な空間スケールでの傾向として、Watanabe (1990)は、札幌-岩内地域の溶岩の分

布と年代に基づき、前期鮮新世 (4.2-3.7 Ma)、後期鮮新世* (3.3-2.0 Ma)、更新世* (2.0-0.01 Ma) の北西-南東方向に延びる3つの火山列が見られること、これらの火山列をなす火山活動は時代の変遷とともに南西に移動したことを指摘している。渡辺 (1993a) によると、このうち更新世*には、ニセコ火山群から羊蹄山を通り倶多楽カルデラに向かう列と札幌岳から樽前山にかけての2列の火山列が形成され、羊蹄山や樽前山・倶多楽カルデラでは完新世まで火山活動が続いていることが指摘されている。渡辺 (1993b) では、これらの火山列を4列~5列と見ることができ、火山列を構成する火山が北西から南東に向かって形成されていくことを指摘している。また、このうち積丹-漁火山列を除くニセコ-羊蹄火山列などの方位や、南東方向に向かう火山列の成長には、その形成時の広域的な最大圧縮主応力軸 (σ_1) の方位が関与していることが、応力集中による割れ目の成長の観点に基づいた仮説として提案されている。

3.1.3 西南北海道の応力場

火山体の分布形態は、マグマの性質のほかには火山体周辺の応力場などによって大きく変化する(三浦ほか, 2006)と考えられている。また、3.1.2に示したように、西南北海道で見られる火山列の方位には、その形成時の応力場が関与した可能性(渡辺, 1993b)が指摘されている。

西南北海道の過去の応力場は、山岸・渡辺 (1986)、大槻 (1989)、渡辺 (1993a) などにより、岩脈、火口配列や鉞脈を用いて推定されている。渡辺 (1993a) は、岩脈・火口列の方向に基づいて、後期新生代(中期中新世以降)の西南北海道北部における主応力軸の方位を推定している。これによると、この地域の応力場は時期によって変化しており(第1期: ~約13 Ma, 第2期: 13-10 Ma, 第3期: 約10-6 Ma, 第4期: 約6-0 Ma)、このうち最も新しい時期である約6-0 Maの最大圧縮主応力軸 (σ_1) の方位は、西北西~北北西方向であると指摘している。このような第四紀*を含む最近の時代の最大圧縮主応力軸の方位は、ほかの研究(山岸・渡辺, 1986; 渡辺, 1986; Watanabe, 2002)においても概ね同様の結果が示されており、東西~北北西-南南東方向であると推定されている。

一方、現在の応力場は、Terakawa and Matsu'ura (2010)やUchide et al. (2022)などにより、地震観測データや測地観測データの解析に基づいて推定されている。Terakawa and Matsu'ura (2010)では、日本列島下の深さ10 kmおよび40 kmにおける三次元応力パターンが推定されており、文献調査対象地区周辺では北西-南東から東西方向の圧縮かつ逆断層型の応力パターンであることが示されている。このような現在の応力場の特徴は、ほかの研究(Iinuma et al., 2005; Uchide et al., 2022)においても概ね同様の結果が示されており、北西から西北西方向の圧縮を示していると推定されている。

3.1.4 文献調査対象地区周辺の第四紀火山

文献調査対象地区およびその周辺地域における第四紀火山の分布などについては、「日本の火山(第3版)」(中野ほか編, 2013)、「日本の第四紀火山カタログ」(第四紀火山カタログ委員会編, 1999)、「第四紀火山岩体・貫入岩体データベース」(西来ほか編, 2012)などの文献・ウェブサイトにおいて取りまとめられている。なお、「日本の火山(第3版)」(中野ほか編, 2013)の情報は、産業技術総合研究所地質調査総合センターがウェブサイトで公開しているデータベース「日本の火山データベース 第四紀火山」(産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ a)に収録されており、これらは新たな研究成果に基づき、適宜、更新が行われている。

これらによると、文献調査対象地区およびその周辺地域には、第四紀に活動した火山として、積丹岳、赤井川カルデラ、ニセコ・雷電火山群などが示されている(図 3.1-3)。

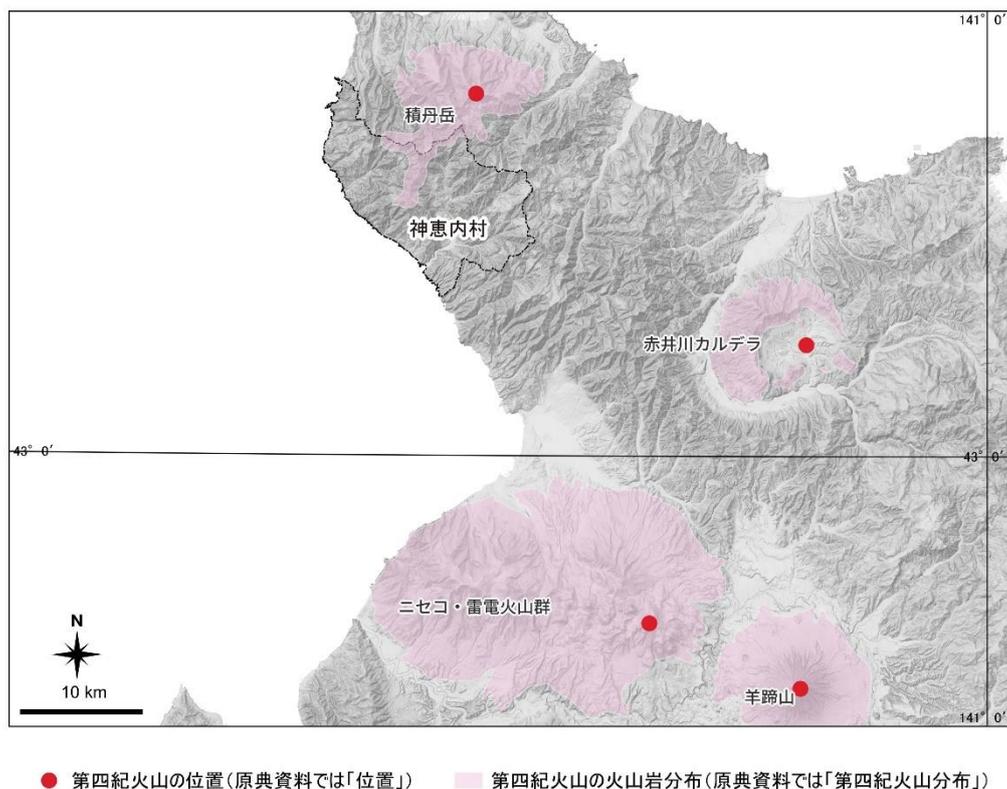


図 3.1-3 文献調査対象地区周辺の第四紀火山の分布

中野ほか編(2013)のデジタルデータを引用。基図として「地理院タイル(陰影起伏図および傾斜量図)」(国土地理院)を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報(行政区域データ)」(国土交通省)に基づく。

(1) 積丹岳

積丹岳は文献調査対象地区の北方に位置する火山である。積丹岳そのものを対象とする研究は見られず、積丹半島の地質や火成活動を論じた文献が多い(例えば、Yamagishi, 1981 など)。「第四紀火山岩体・貫入岩体データベース」(西来ほか編, 2012)では、積丹岳を構成する地層名として、「積丹岳溶岩」、「大森山溶岩」、「尾根内層の一部」(山岸・石井, 1979)を挙げている。

産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページaによる概要は表 3.1-1 のとおり。

表 3.1-1 積丹岳の概要

(産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ a より一部抜粋)

標高	1,255 m
主な活動期	前期更新世前半(ジェラシアン期)
活動年代・最新活動年	約 250 万~200 万年前
火山の型式・構造	複成火山
主な岩石	安山岩
火山の概要・補足事項	下位の溶岩から広瀬ほか(2000)によって 2.54 ± 0.13 Ma という K-Ar 年代、Watanabe (1990) が 2.03 ± 0.10 Ma という K-Ar 年代を報告している。

(2) 赤井川カルデラ

赤井川カルデラは文献調査対象地区の南東方に位置するカルデラで、帷子 (1926a, b) をはじめ、横山ほか (2003) などにより、カルデラの形成史が整理されてきた。

産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ a による概要は表 3.1-2 のとおり。

表 3.1-2 赤井川カルデラの概要

(産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ a より一部抜粋)

標高	725 m(大黒山)
主な活動期	前期更新世後半(カラブリアン期)
活動年代・最新活動年	約 170 万~130 万年前
火山の型式・構造	複成火山-カルデラ
主な岩石	安山岩, デイサイト, 流紋岩
火山の概要・補足事項	元服山, 大黒山, 丸山などを外輪山とする, 直径 6~7 km の楕円形のカルデラ。二重のカルデラ地形となっており, このうちの内側が赤井川カルデラ, 外側は後期鮮新世に形成された余市川カルデラ。

(3) ニセコ・雷電火山群

ニセコ・雷電火山群は文献調査対象地区の南方に位置する火山であり、「ニセコ」として活火山(概ね過去 1 万年以内に噴火した火山および現在活発な噴気活動のある火山)に認定されている(気象庁ホームページ a)。古くから硫黄や褐鉄鉱の賦存地域で大規模に採掘されたこともあり, その当時(1910 年代)の硫黄鉱床に関する研究に始まり, 火山地形などに関する研究が進められてきた(大場, 1960)。1980 年代には地熱有望地域の一つとして着目され, 新エネルギー総合開発機構(NEDO)が昭和 59 年度から昭和 61 年度にかけて実施した全国地熱資源総合調査(第 2 次)の対象地域にも選定され, 最近では超臨界地熱資源有望地域として再度, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による調査が行われた(例えば, 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2021)。

産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ a による概要は表 3.1-3 のとおり。

表 3.1-3 ニセコ・雷電火山群の概要

(産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページaより一部抜粋)

標高	1,309 m
主な活動期	前期更新世前半(ジェラシアン期)–完新世
活動年代・最新活動年	約 200 万年前以降, 最新の噴火, 約 6,000 年前
火山の型式・構造	複成火山, 溶岩ドーム
主な岩石	安山岩
災害・噴火記録	2023 年 6 月 29 日 地熱発電調査用の掘削孔から蒸気噴出(大湯沼北東約 300m)
火山の概要・補足事項	200~50 万年前の雷電山は古期火山群と位置づけ。80 万年前以降のニセコアンヌプリ, イワオヌプリ(硫黄山), ニトヌプリ, チセヌプリなど中期, 新期の火山群をあわせてニセコ・雷電火山群と呼ぶ。時代を追うごとに活動場が大局的に西から東へ移動しているので, 一連のものと考えても差し支えない。イワオヌプリが噴気活動中。2003 年の活火山見直しで新たに活火山として認定された。

(4) 海域

神恵内村の海岸線から北西 70 km ほど沖合に, 後志海山が分布している (図 3.1-4)。Tsuchiya et al. (1989)によると, 後志海山の山頂部付近から採取された安山岩試料の K-Ar 年代値として 0.9 ± 0.2 Ma が得られており, 後志海山の形成年代は第四紀更新世以降であると考えられている。

なお, 第四紀火山には該当しないが, 神恵内村の海岸線から北西 30 km ほど沖合には, 二子海丘が分布し, 岡村ほか (1989) によると, 「二子海丘の主体とみられる火山岩の放射年代は, 5.7 ± 0.3 Ma で後期中新世末期~鮮新世の時代を示した」との記載がある。

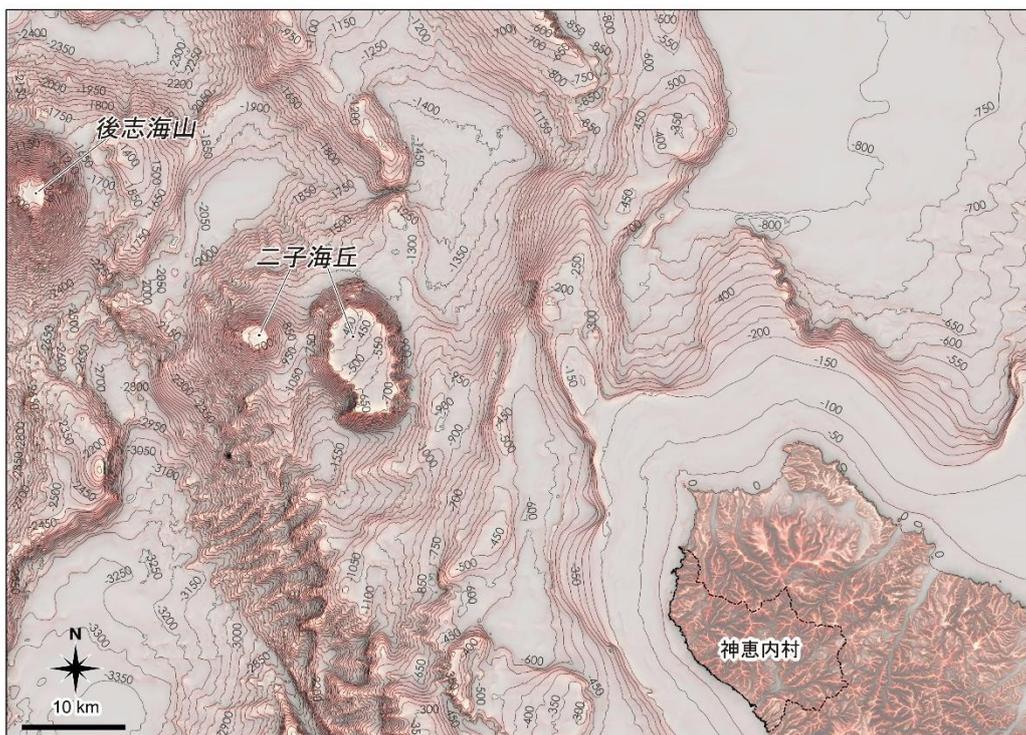


図 3.1-4 後志海山および二子海丘の分布

Tsuchiya et al. (1989)を参考に作成。基図として「アジア航測：赤色立体地図（陸域は国土地理院数値標高データ、海域は日本水路協会発行 M7000 シリーズ（(一財)日本水路協会承認 第 2021006 号)を使用)」を使用。海域の等深線図は日本水路協会発行「海底地形デジタルデータ（M7009 Ver.2.0 北海道西部）（(一財)日本水路協会承認第 2021006 号)」を用いて作成（等深線の間隔は 50 m）。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

3.2 地熱・熱水活動

3.2.1 鉱床および熱水変質帯

文献調査対象地区を含む西南北海道における鉱床の分布は、齊藤ほか(1963)、長谷川ほか(1983)などによって取りまとめられている。このうち、石原ほか(1992)、成田ほか(1996)、渡辺(2000)は、その分布に加えて年代測定値や形成時期を取りまとめている。

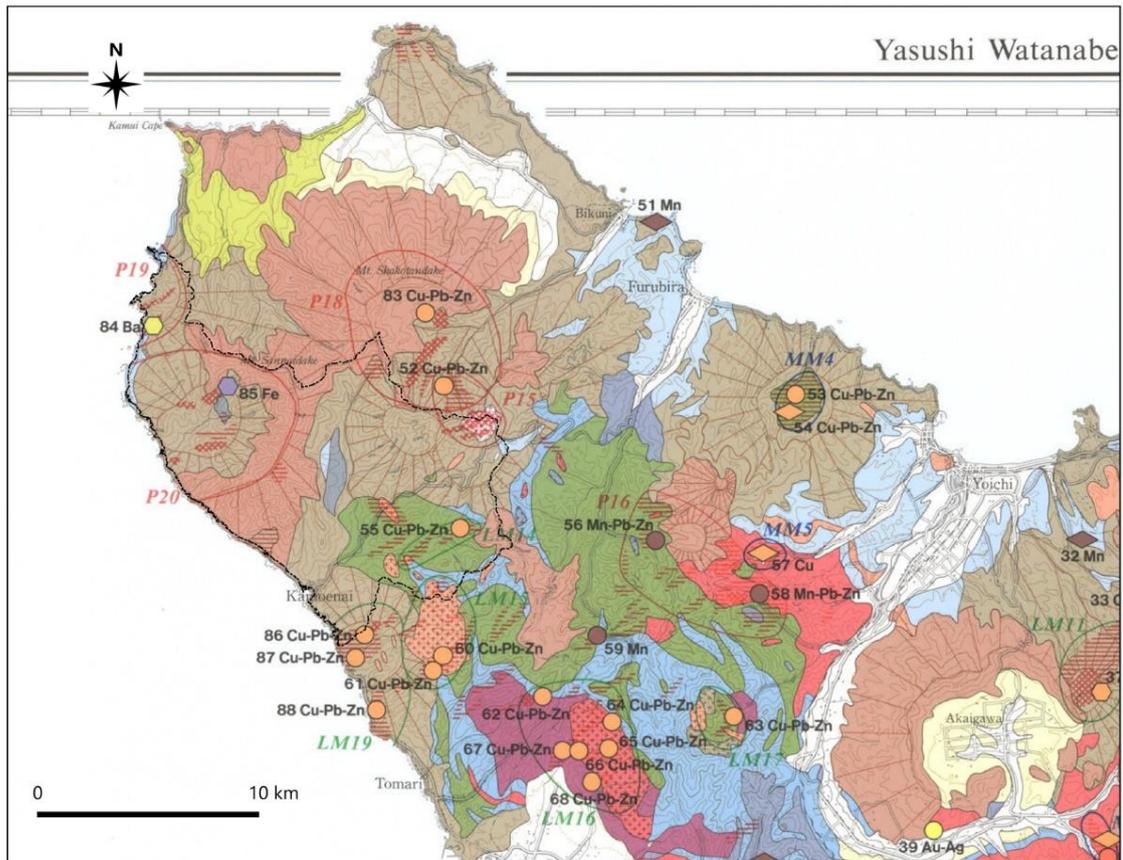
熱水変質帯については、資源開発を目的とした新エネルギー総合開発機構（NEDO）による全国地熱資源総合調査（新エネルギー総合開発機構，1987）や通商産業省資源エネルギー庁による広域調査（通商産業省資源エネルギー庁，1985）などによって調査が行われてきた。これらの調査により明らかとなった主な変質帯の分布は、地質調査所（現・産業技術総合研究所地質調査総合センター）が既存資料に基づき引用・編集を行った札幌－岩内地域マグマ－鉱化熱水系分布図（渡辺，2000）や札幌地熱資源図（玉生ほか，2001）などにおいて取りまとめられている。

文献調査対象地区周辺における鉱床および熱水変質帯の分布（渡辺，2000）を図 3.2-1 に示す。これによると積丹半島には熱水鉱床が広く点在し、積丹岳の中心部および西麓には、第四紀の鉱床（およびその鉱化年代，渡辺（2000）による）として重田美国（2.0 Ma）および珊内（2.4 Ma）が分布する。また、文献調査対象地区に分布する鉱床として、北部に鮮新世以降の熱水活動を示す西の

河原 (4.9 Ma) および珊瑚内 (2.4 Ma) が示されている。一方、南部および南方には、中新世に相当する神恵内 (10.2 Ma), 第二茂岩 (8.9 Ma), 茂岩 (9.0 Ma) が分布し、北部に比べて古い時代の熱水活動を示す。

積丹半島における熱水変質帯は、熱水鉱床の周辺に広く分布するが、通商産業省資源エネルギー庁 (1985) によると、積丹半島における「新第三系*は、広域にわたる続成変質あるいは鉱化作用による熱水変質を受けている」と指摘されている。また、渡辺 (2000) によれば、文献調査対象地区北部に位置する珊瑚内および重田美国のそれぞれについて熱水活動システムの範囲が示されており、これらの熱水活動が文献調査対象地区の北部および西部に及んだ可能性が指摘されている。

これらによると、文献調査対象地区に分布する鉱床や熱水変質帯の形成年代は、必ずしもすべてが明らかではないが、文献調査対象地区の中央部から南部では北部に比べて古い時代に形成されたことが示されている。



Hydrothermal alteration zone

-  Argillic, propylitic and sericitic alteration zone
-  Advanced argillic alteration zone

Hydrothermal system

-  Quaternary hydrothermal system
-  Pliocene hydrothermal system
-  Late Miocene hydrothermal system
-  Middle Miocene hydrothermal system

Type of deposits

-  Vein
-  Replacement, disseminated
-  Strata-bound including Kuroko and sublimation sulfur
-  Sedimentary

Commodity of minerals

-  Cu, Pb, Zn
-  Ba
-  Au, S
-  Fe
-  As, Hg
-  Mn

図 3.2-1 文献調査対象地区周辺の鉱床および熱水変質帯の分布

渡辺 (2000) より文献調査対象地区およびその周辺地域を一部抜粋して方位記号とスケールを追記した。文献調査対象地区周辺の主な鉱床の名称 (数字は図中の番号に対応) : 52 土谷美国, 55 神恵内, 60 西玉川, 61 盃, 83 重田美国, 84 西の河原, 85 珊内, 86 第二茂岩, 87 積丹, 88 茂岩

3.2.2 泉温および地温・地温勾配

一般に、火山およびその周辺地域では、地下に存在するマグマ溜り（熱源）から放出される熱および揮発性物質によって、熱的な影響や化学的な影響を受ける（例えば、小松・梅田，1999）。このうちマグマから放出された熱などによって加熱された地下水（熱水）は、温泉として湧出し、坑井での水温（泉温）として観測される。これと同様に、岩盤への熱的な影響は地温または地温勾配などの空間的な変化として捉えられる。

国内における泉温、地温、地温勾配の情報は、種々のデータベースにより取りまとめられている。これらのデータベースには測定地点の位置情報として座標値が示されているものの、小縮尺の位置図からの読み取りなどによって推定されている（例えば、産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページc）場合もあれば、異なる測地系に基づいた座標が混在している可能性も考えられ、データベース間で同一の坑井を示している場合であっても、座標値の表記が若干異なっている場合が見受けられた。このため、同一の坑井との対応に留意しつつ、これらの情報を整理した。

図 3.2-2 に、文献調査対象地区における坑井の分布を示す。これによると、文献調査対象地区の北部に1カ所、南部に6カ所に坑井が分布する。以下に、文献調査対象地区周辺の泉温および地温・地温勾配について、それぞれの概要を示す。

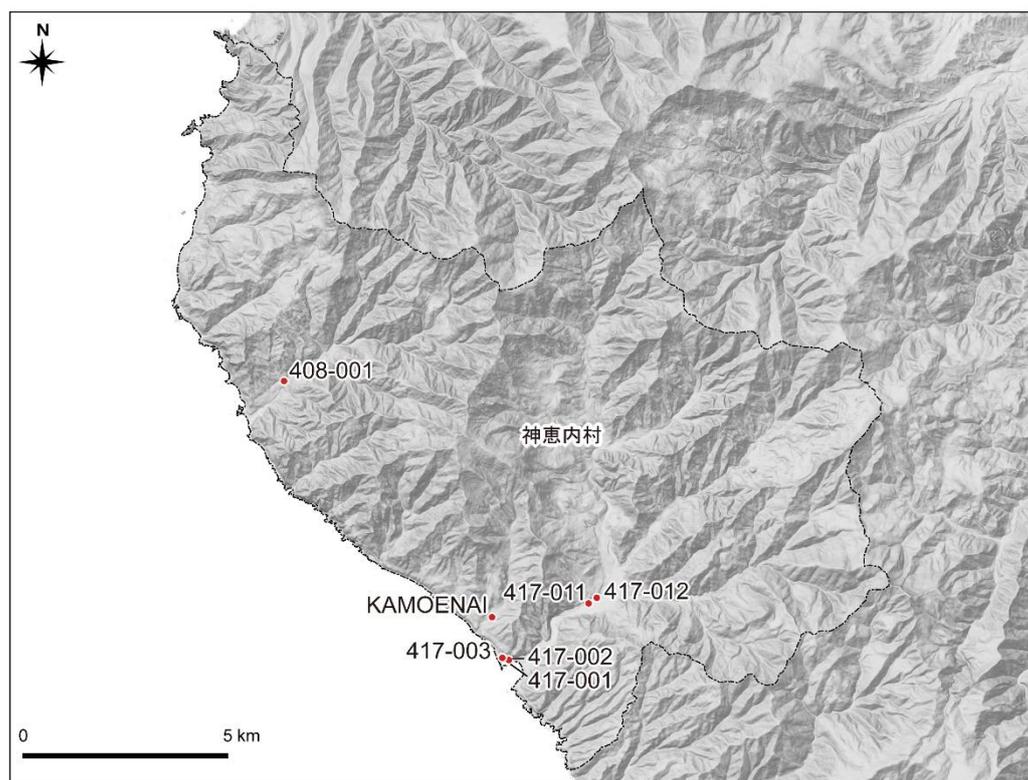


図 3.2-2 文献調査対象地区の坑井分布

基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。図中に数字で示す坑井のコード番号は坂川ほか（2004）、高見ほか（2008）、神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

(1) 泉温

国内の泉温の測定値やその位置情報は、産業技術総合研究所地質調査総合センター（2005）や村岡ほか（2009）などにより整理されている。村岡ほか（2009）に基づく文献調査対象地区周辺の泉温分布を図 3.2-3 に示す。これによると、泉温の測定地点は偏在しており、特にニセコ・雷電火山群の周辺に多く分布し、これに比べて積丹半島での測定値は少ない。ニセコ・雷電火山群の周辺では、70℃以上の泉温を示す地点が多く分布する。

表 3.2-1 に、文献調査対象地区の坑井における泉温を示す。各坑井との対応は、松波ほか（1991, 1996）、高見ほか（2008）に基づく坑井のコード番号を参照して整理した。文献調査対象地区の坑井での泉温は、33.1～60.3℃である。このうち最も高い泉温（60.3℃）が測定された坑井 417-011 は文献調査対象地区の南部に位置するが、その坑底深度は 1101.0 m であり、ストレーナー管の設置深度はおよそ 800 m 以深である（鈴木ほか, 1995）。玉生ほか（2001）によると、42℃以上の地熱流体が得られている地域であることから、文献調査対象地区の南部は、「第四紀*火山に関連しない地熱資源賦存地域」に区分されている。

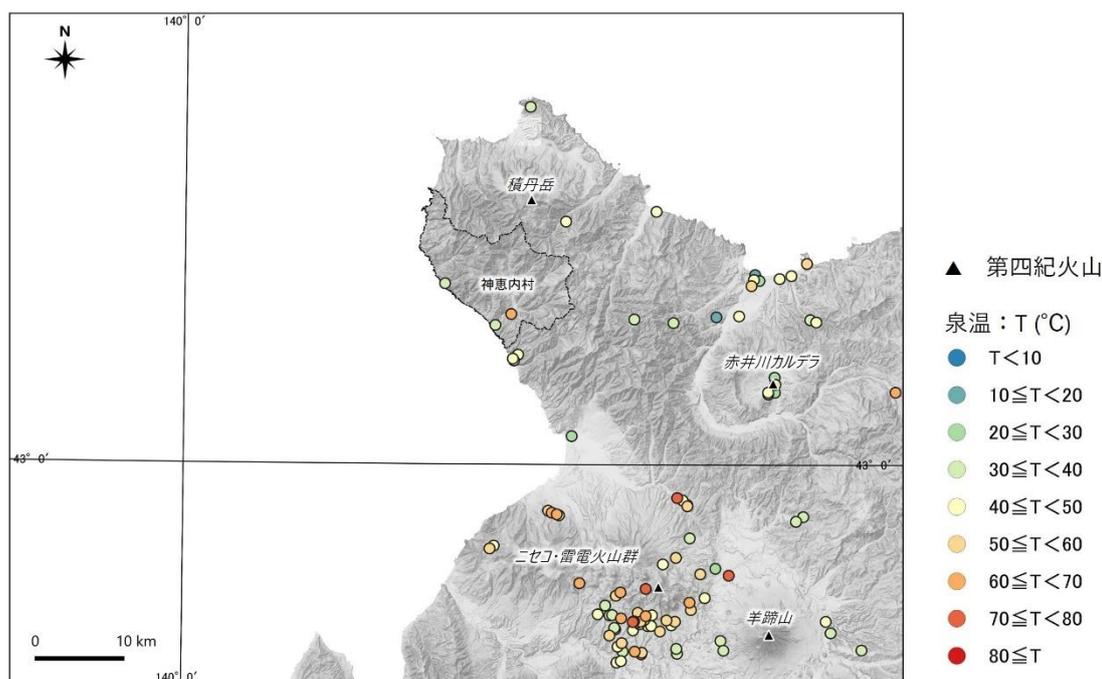


図 3.2-3 文献調査対象地区周辺の泉温分布

泉温は村岡ほか（2009）、第四紀火山は中野ほか編（2013）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

表 3.2-1 文献調査対象地区の坑井における泉温

坑井のコード番号または名称 ^{※1}	泉温 (°C)
408-001	34.4 ^{※2}
417-001	34.0 ^{※2}
417-002	38.5 ^{※2}
417-003	33.1 ^{※2}
417-011	60.3 ^{※2} , 59.4 ^{※3}
417-012	-
KAMOENAI	-

※1 坑井の位置は図 3.2-2 を参照, ※2 松波ほか (1996) に基づく, ※3 松波ほか (1991) に基づく。

(2) 地温・地温勾配

国内の地温勾配値は、田中ほか (1999) や田中ほか (2019) などにより整理されている。このうち、田中ほか (2019) に基づく文献調査対象地区周辺の地温勾配分布を図 3.2-4 に示す。これによると、地温勾配の測定地点は偏在しており、積丹半島での測定値は少ない。ニセコ・雷電火山群の周辺では、100°C/km 以上を示す地点が多く分布し、南東部で最も高い地温勾配 (152°C/km) が示されている。

表 3.2-2 に、文献調査対象地区の坑井における地温および地温勾配を示す。地温勾配は、6 カ所の坑井について示されており、51~86°C/km である。この値は、梅田ほか (1999) に示される北海道の広域的な地温勾配値、30~50°C/km よりも高い。

文献調査対象地区の坑井のうち、坑井 408-001 および 417-012 を除く 5 カ所の坑井における温度プロファイルは、酒匂ほか (1977)、藤本ほか (1979)、坂川ほか (2004) により示されている。その一例を図 3.2-5 に示す。酒匂ほか (1977) により示される温度プロファイルは、高見ほか (2008) に示される坑底深度と一致することから、坑井 417-001 の測定値とみなした。また、坑井 KAMOENAI を除く坑井では、最高温度およびその測定深度が松波ほか (1991, 1996)、若浜ほか (1995) により示されている (表 3.2-2)。これらによると、北部の坑井 408-001 では、深度 800m において 51.0°C、深度 1,004m で 63.8°C である。また、南部では坑井 417-003 の深度 1,207m 付近における地温 (92.2°C) が最も高い。

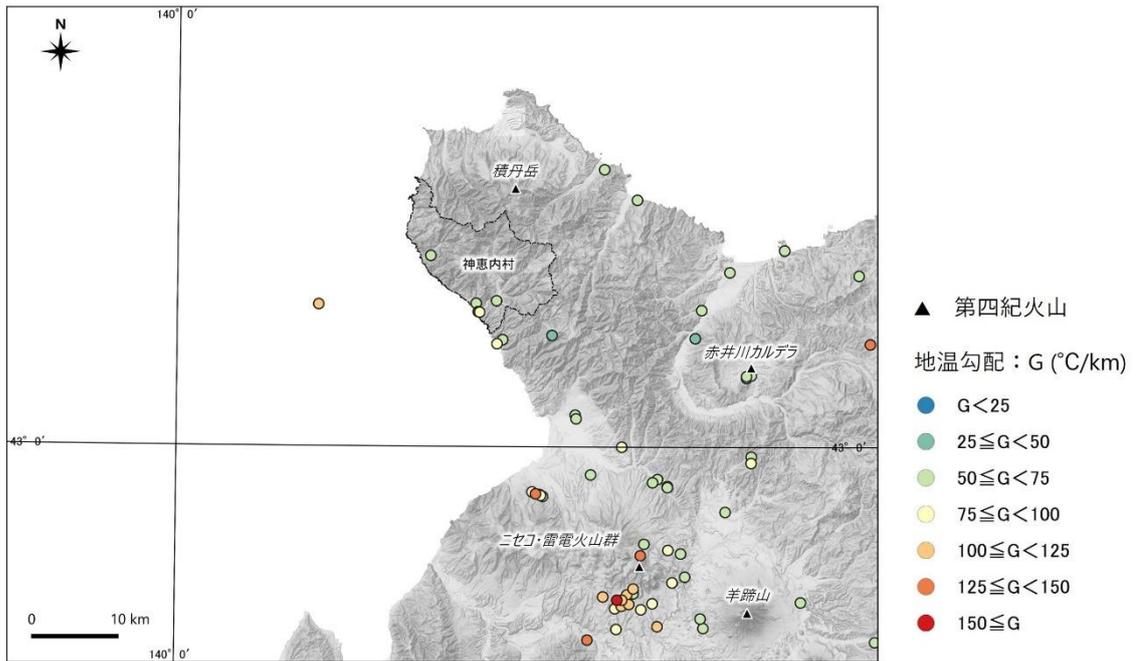


図 3.2-4 文献調査対象地区周辺の地温勾配分布

地温勾配は田中ほか (2019), 第四紀火山は中野ほか編 (2013) に基づき作成。基図として「地理院タイル (陰影起伏図および傾斜量図)」(国土地理院) を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報 (行政区域データ)」(国土交通省) に基づく。

表 3.2-2 文献調査対象地区の坑井における地温勾配および地温

坑井のコード番号または名称 ^{※1}	地温勾配 (°C/100m)	地温
		測定深度 (m) / 温度 (°C)
408-001	5.1 ^{※2} , 5.4 ^{※3}	1004/63.8 ^{※4} , 800.0/51.0 ^{※2}
417-001	8.2 ^{※2} , 8.6 ^{※3}	570.0/57.0 ^{※2} , 570/57 ^{※5}
417-002	7.0 ^{※2} , 7.2 ^{※3}	805.7/66.0 ^{※2} , 805.7/66 ^{※5}
417-003	6.8 ^{※2} , 7.0 ^{※3}	1207.0/92.2 ^{※2} , 1207.1/92.2 ^{※5}
417-011	6.1 ^{※2,3}	1100/75.5 ^{※4} , 1101.0/75.5 ^{※2}
417-012	-	1003.5/67.7 ^{※4}
KAMOENAI	5.8 ^{※3}	-

※1 坑井の位置は図 3.2-2 を参照, ※2 若浜ほか (1995) に基づく, ※3 田中ほか (2019) に基づく, ※4 松波ほか (1996) に基づく, ※5 松波ほか (1991) に基づく。

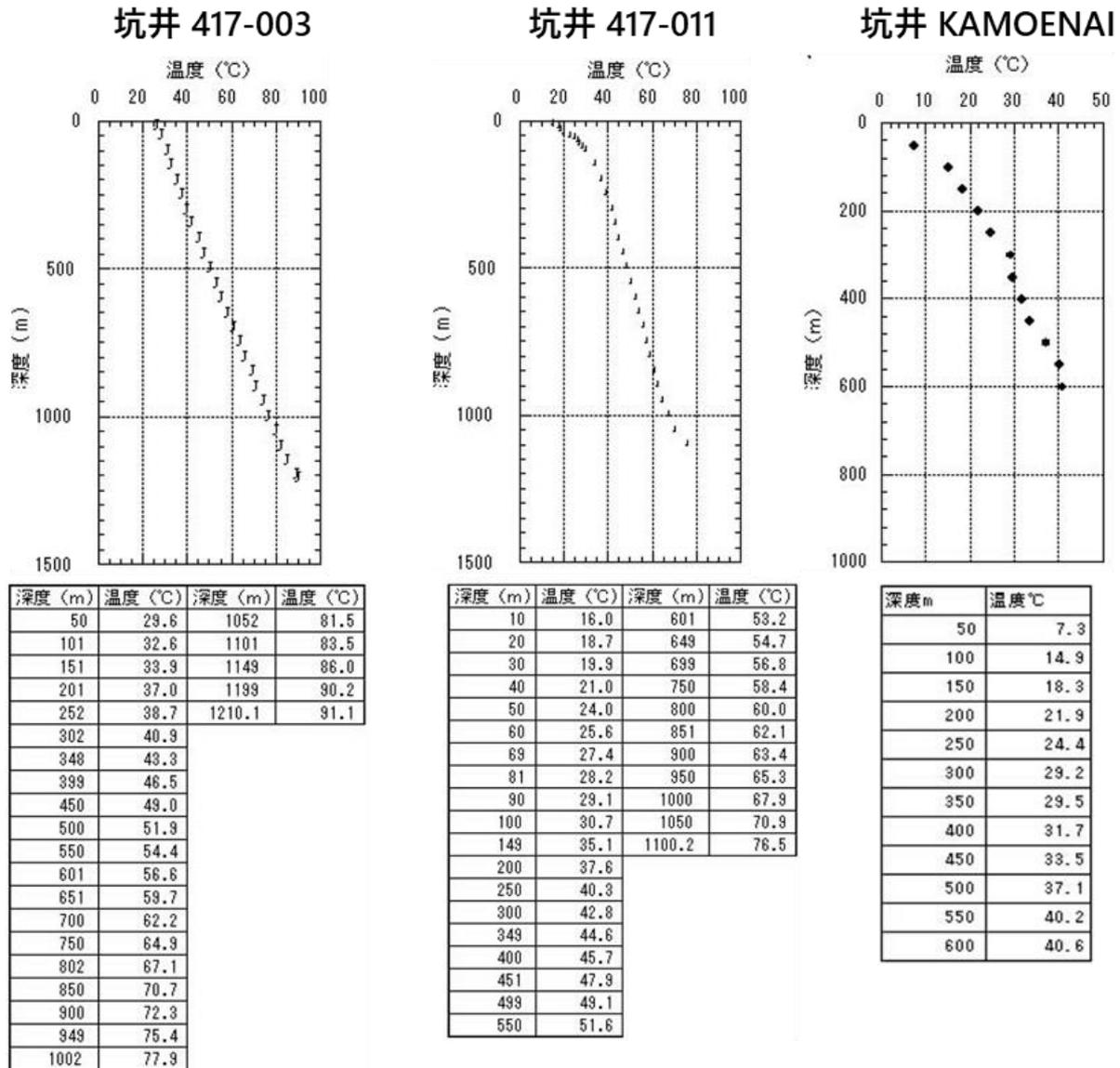


図 3.2-5 坑井における温度プロファイルの例

坂川ほか (2004) の温度プロファイルの一部抜粋し、配置を編集。

3.2.3 噴気

文献調査対象地区の周辺において噴気が認められた地点については、酒匂ほか (1977)、金原・阪口 (1989) や玉生ほか (2001) により示されている。これらによると、ニセコ・雷電火山群の東部に位置するチセヌプリおよびイワオヌプリの周辺で 57.5~96.8°C の噴気存在が示されているが、文献調査対象地区には分布しない。

3.2.4 地下水の pH

一般に、火山およびその周辺地域では、地下に存在するマグマ溜り (熱源) から放出される熱および揮発性物質によって、熱的な影響や化学的な影響を受ける (例えば、小松・梅田, 1999)。小松・梅田 (1999) および浅森ほか (2002) によると、pH 4.8 未満を示す低 pH の地下水は火山付近に集中して見られ、火山から離れるに従って pH が大きくなることなどから、火山活動は酸性地下水を

生み出す支配的な要因となっていることが指摘されている。

国内の地下水の pH は、産業技術総合研究所地質調査総合センター（2005）や村岡ほか（2009）などにより整理されている。このうち、村岡ほか（2009）に基づく文献調査対象地区周辺の pH の分布を図 3.2-6 に示す。これによると、ニセコ・雷電火山群の東部では、周辺に比べて低い pH 未満の pH を示す地下水が多く分布する。

表 3.2-3 に、文献調査対象地区の坑井における pH を示す。各坑井との対応は、松波ほか（1991, 1996）、高見ほか（2008）に基づく坑井のコード番号を参照して整理した。これらの坑井における pH は 6.7～9.6 であり、pH 4.8 未満を示す地下水は見られない。なお、坑井 417-003 および KAMOENAI で測定された pH であるとみなすことができる測定値は確認できなかった。

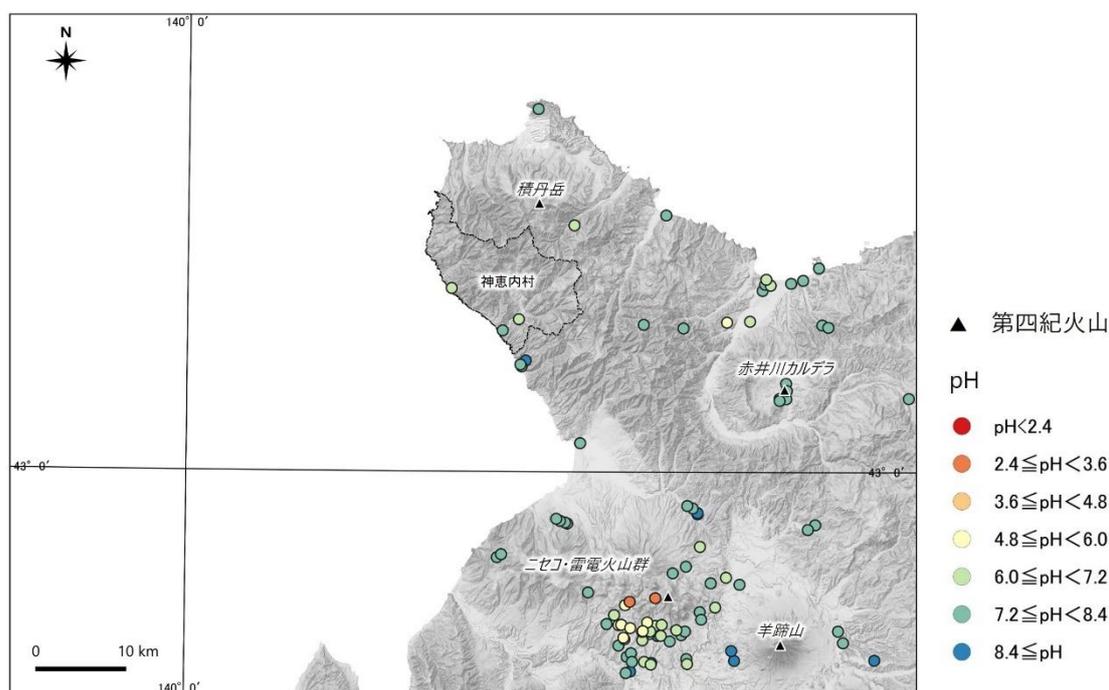


図 3.2-6 文献調査対象地区周辺における地下水の pH 分布

pH は村岡ほか（2009）、第四紀火山は中野ほか編（2013）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

表 3.2-3 文献調査対象地区の坑井における地下水のpH

坑井のコード番号または名称 ^{※1}	pH
408-001	6.7 ^{※2}
417-001	8.7 ^{※2}
417-002	8.7 ^{※2} , 8.3 ^{※3}
417-003	-
417-011	6.8 ^{※2}
417-012	9.6 ^{※2}
KAMOENAI	-

※1 坑井の位置は図 3.2-2 を参照，※2 松波ほか（1996）に基づく，※3 松波ほか（1991）に基づく。

第4章 評価に必要な知見の整理

4.1 既知の第四紀火山

本節では、「日本の火山（第3版）」（中野ほか編，2013）において第四紀の活動が指摘されている火山体を対象に，火山噴出物の分布と層序，火口・カルデラなどの分布および火山を代表する地点に関する情報を整理した。

4.1.1 検討方法

(1) 火山噴出物の分布と層序

既知の第四紀火山も含め，対象噴出物が第四紀の火山・火成活動に該当するか分析を行うため，以下の地質図幅および地質図を参照し，検討を行った。

- ・ 5万分の1地質図幅
「余別および積丹岬」（山岸・石井，1979）
「古平および幌武意」（根本ほか，1955）
「神恵内」（山岸，1980）
「茅沼」（斎藤ほか，1952）
- ・ 積丹地域地質図（1：50,000）（通商産業省資源エネルギー庁，1985）
- ・ ニセコ地域地熱地質編図（1：100,000）（新エネルギー総合開発機構，1987）

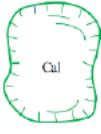
検討に使用した地質図幅および地質図の選定理由としては，第四紀の火山噴出物の分布について記載されており，検討に必要な解像度を有することが挙げられる。なお，地層・岩体の名称等については，現在使用されていない「石英安山岩」や「石英斑岩」などの用語を含め，特に断りのない限り原著のとおりに記載している。

また，地質図幅・地質図間の境界部において地層・岩体の分布は必ずしも整合しないため，地層・岩体が不連続となる箇所については，複数の地質図等を参考にその分布について整理を行った。さらに，個別論文等で年代測定値が得られている場合は，火山噴出物の分布と層序を可能な限り区分したうえで，年代測定地点との対応を整理した。

加えて，地形判読を実施することにより，火山体を構成する溶岩等の重なりを詳細に整理した。地形判読を行うに当たっては，判読区域ごとに空中写真を実体視し，陰影起伏図（地理院タイル）および赤色立体地図も参照するとともに，表 4.1-1 の判読基準に従い，火山体を構成する地形種を抽出した。なお，判読基準を定めるにあたり，鈴木（2012）を参考にした。

表 4.1-1 地形判読の判読基準

鈴木 (2012) を参考に作成。

名称	凡例・記号	判読基準
火口(Crater) ・割れ目火口 (Fissure vent)		火山の山頂部および山腹・山麓に見られる凹地のうち、直径約2 km 以下のもの(C)を判読。線状に発達する割れ目火口(F)も判読対象とした。
溶岩流 (Lava flow)		舌状の細長い地形(L)を判読。末端は急峻な崖になることが多く、台地状となる。上面に溶岩じわ、側面に溶岩堤防が認められることもある。
溶岩円頂丘 (Lava dome)		腕を伏せたような小丘上の地形を判読。頂部は平坦～緩斜面で、中腹はやや急峻、末端部は崖錐を伴う急峻な地形を呈する。マグマが地表に噴出して冷え固まったものを溶岩円頂丘(Ld)、マグマが地表に噴出せずに地表付近の地盤を押し上げたものを潜在円頂丘(Cd)とする。ただし、両者の識別が困難な場合、円頂丘(D)として判読する。粘性の高いマグマの噴出によって形成されたため、流下距離に対して厚さが大きくなる。厚さ/底径が1/8以上であることを目安として、溶岩流と区別する。
潜在円頂丘 (Crypt dome)		
円頂丘(Dome)		
火山原面 (Volcanic original surface)		削剥が進み、上述した溶岩流や溶岩円頂丘などの具体的な火山地形は判読できないが、火山形成時の斜面が断片的に識別できる場合は、このカテゴリ(Vs)で表記する。
カルデラ (Caldera)		火山活動で生じた直径約2 km 以上の巨大な凹地(Cal)を判読。カルデラを囲む環状の山稜をカルデラ縁または外輪山と呼び、その形状は、円形・楕円形・四角形・馬蹄形など多様である。

(2) 火口・カルデラなどの分布

既存文献に示される火口等の情報について整理するとともに、(1)に示した地形判読により把握した。

(3) 火山を代表する地点

火山の位置情報(座標値)が示されている以下の文献を対象に、それぞれの文献で示される位置情報を整理した。

- ・ 日本の火山(第3版)(中野ほか編, 2013)
- ・ 第四紀火山カタログ(第四紀火山カタログ委員会編, 1999)

- ・ 第四紀火山岩体・貫入岩体データベース（西来ほか編，2012）
- ・ 日本活火山総覧（第4版）（気象庁ホームページ a）

各文献で位置情報の意味は以下のとおり，異なっている。

中野ほか編（2013）の情報を収録した「日本の火山データベース 第四紀火山」（産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ a）では、「各火山（火山群）の緯度経度は，火山活動の中心地点ではなく，「火山の最高標高点。単成火山群の場合は最も高い標高点，あるいは代表的な火山の最高標高点」を示したものであるとしている。

第四紀火山カタログ委員会編（1999）では，「地形的」および「主火道」の2つの緯度・経度が示されるとともに，それぞれについて，以下のように記載されている。

- ・ 地形的：現在残存している地形に基づいて判断した，火山体の最高点あるいは中心位置。
- ・ 主火道：新鮮な地形が残されている場合でも，浸食された山体しか残されていない場合でも，共に主要な火道（マグマの通路）を推定してその位置を示す。必ずしも，現在の最高点や主峰の位置ではない。

なお，本文献においては，すべての火山で2つの緯度・経度が示されているわけではなく，どちらか一方の緯度・経度しか示されていない火山もある。また，「火山」の多くが，実際には複数の火山の集合であることから，個々の構成要素である火山体一つ一つを別個のレコードとして記述した「個別火山体カタログ」も集録されている。

西来ほか編（2012）は，「主要な位置」として各火山・貫入岩の緯度・経度の情報が掲載されている。定義は示されていないが，多くは中野ほか編（2013）と座標値が一致することから，火山の最高標高点を主要な位置として示しているものと推察される。

気象庁ホームページ a では，活火山（概ね過去1万年以内に噴火した火山および現在活発な噴気活動のある火山）に関する情報が掲載されており，山体の最高点の緯度・経度が記載されている。ただし，最高点以外にも火山活動がある位置に三角点がある場合，その点も付記されている。

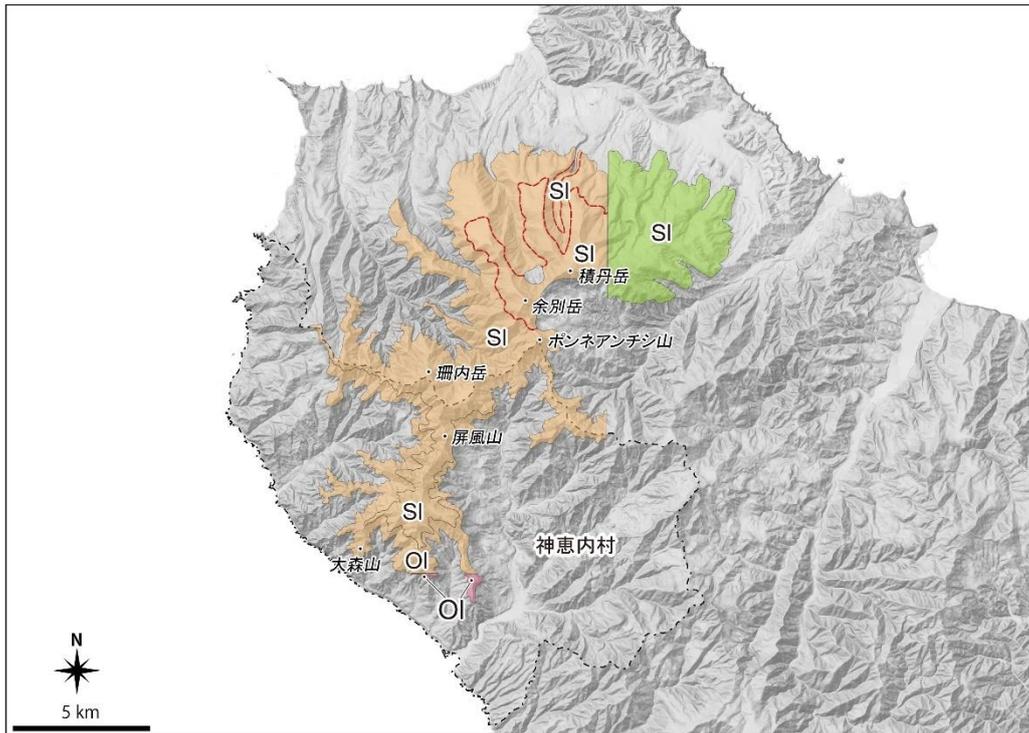
4.1.2 個々の火山に関する整理

2.1 に示した調査範囲を踏まえ，文献調査対象地区から 15 km 以内に火山噴出物が分布する積丹岳を検討対象とした。

ここでは，日本の火山（第3版）（中野ほか編，2013）などの文献において示される範囲に認められる，積丹岳，余別岳，ポンネアンチシ山，珊瑚岳，屏風山，大森山などを包括し，「積丹岳」として検討する。

(1) 火山噴出物の分布と層序

5 万分の 1 地質図幅（山岸・石井，1979；根本ほか，1955；山岸，1980）および「積丹地域地質図」（通商産業省資源エネルギー庁，1985）に基づき，「積丹岳」の活動に伴うものと考えられる火山噴出物の分布を整理した（図 4.1-1 および図 4.1-3）。また，それぞれの地質図幅および地質図による地質層序を図 4.1-2 および図 4.1-4 に示す。これらによると，火山噴出物の分布範囲は，東西約 15 km，南北約 15 km にわたり，神恵内村の北部に及んでいる。



1 2 3 --- 溶岩流の境

図 4.1-1 5 万分の 1 地質図幅による積丹岳周辺の火山噴出物の分布

1：山岸・石井（1979），2：根本ほか（1955），3：山岸（1980）に基づき作成。溶岩流の境は，山岸・石井（1979）の図幅から読み取り，デジタイジングを行った。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。図中の記号（地層・岩体名など）については以下を参照。

1：5 万分の 1 地質図幅「余別および積丹岬」（山岸・石井，1979）より，OI：大森山溶岩，SI：積丹岳溶岩

2：5 万分の 1 地質図幅「古平および幌武意」（根本ほか，1955）より，SI：熔岩 - 積丹岳熔岩 - 石英橄欖石含有角閃石両輝石安山岩

3：5 万分の 1 地質図幅「神恵内」（山岸，1980）より，OI：大森山溶岩 - しそ輝石普通輝石安山岩

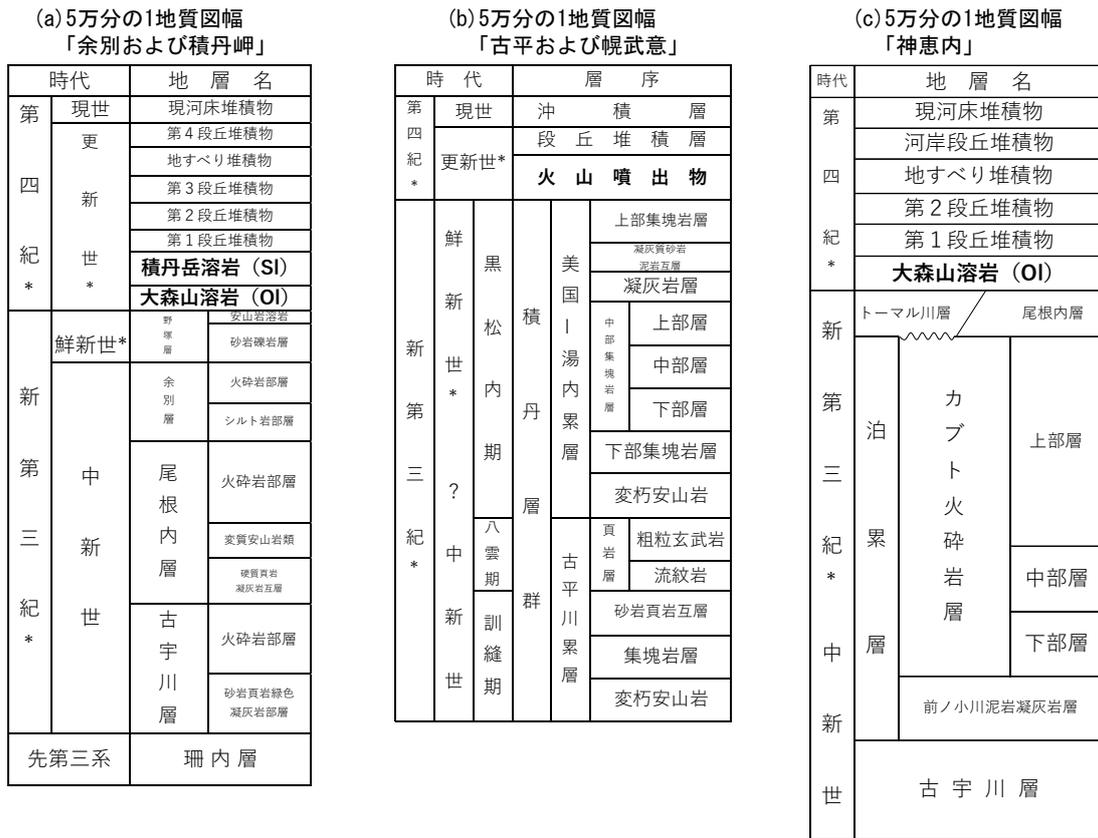


図 4.1-2 5 万分の 1 地質図幅による地質層序 (積丹岳)

(a) は山岸・石井 (1979), (b) は根本ほか (1955), (c) は山岸 (1980) より一部抜粋し, デジタイジングを行った。太文字は図 4.1-1 に示す火山噴出物に相当する。

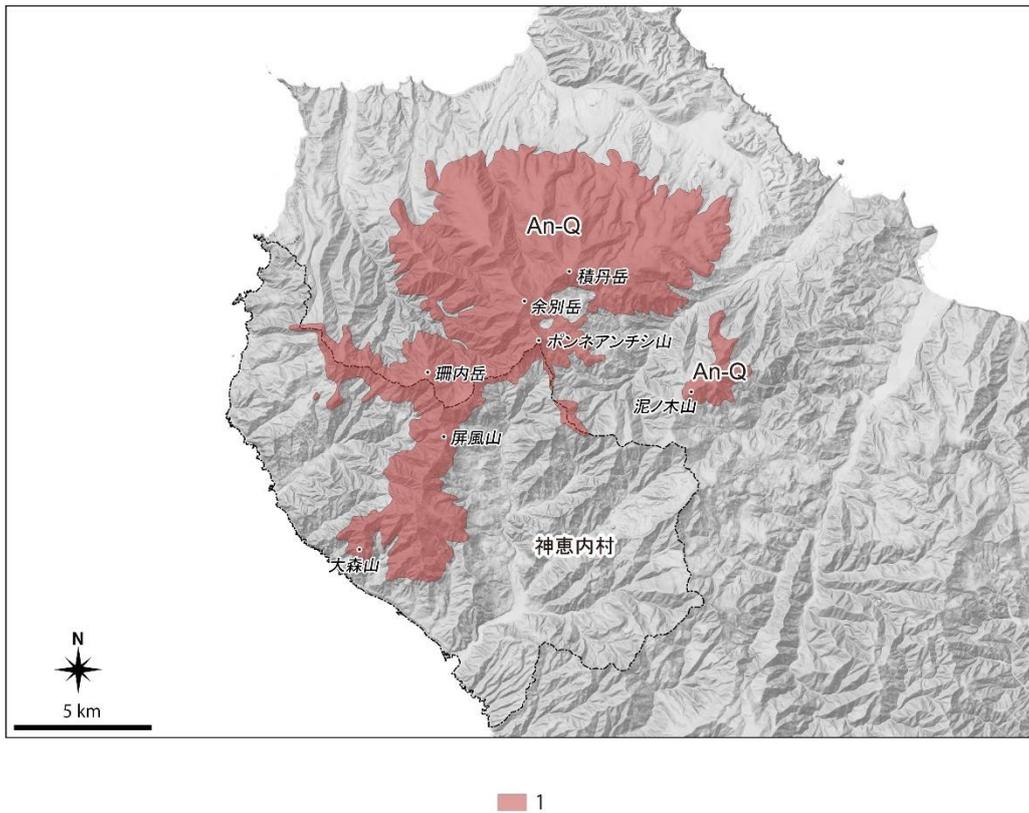


図 4.1-3 積丹地域地質図による積丹岳周辺の火山噴出物の分布

1：通商産業省資源エネルギー庁（1985）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

図中の記号（地層・岩体名など）については以下を参照。

1：「積丹地域地質図 1/50,000」（通商産業省資源エネルギー庁，1985）より，An-Q：新期溶岩類 - 角閃石安山岩・輝石安山岩

地質時代		地層名	
第四紀*	完新世	沖積層 <small>崖線 地すべり 段丘堆積物</small>	
	更新世*	溶岩類	
		野塚累層	
	新第三紀*	鮮新世*	余別累層
中		後期	豊浜累層
		中期	古宇川累層
新		前期	古平累層上部
			古平累層下部
		茅沼累層	
先第三紀		基盤岩類	

図 4.1-4 積丹地域地質図による地質層序（積丹岳）

通商産業省資源エネルギー庁（1985）より一部抜粋し、デジタル化を行った。太文字は図 4.1-3 に示す火山噴出物に相当する。

本火山の活動に伴って形成された地層・岩体は、山岸・石井（1979）では、下位より「大森山溶岩（OI）」、「積丹岳溶岩（SI）」の2つに区分され、このうち「積丹岳溶岩（SI）」は、「溶岩流の境」によりさらに3つに区分されている（図 4.1-1）。根本ほか（1955）では「積丹岳溶岩（SI）」が示されているが、その区分や分布は「余別および積丹岬」との境界において整合しない。山岸（1980）では「大森山溶岩（OI）」が示されており、その分布は「余別および積丹岬」の「大森山溶岩（OI）」と連続している。また、「積丹岳溶岩（SI）」が分布する積丹岳頂上（1255.4m）付近では、そのK-Ar年代として $2.03 \pm 0.10 \sim 0.23$ Ma が得られていることから（Watanabe, 1990）、「積丹岳」は第四紀の火山であると考えられる。

なお、通商産業省資源エネルギー庁（1985）では、「積丹岳」を含む広い範囲で「新期溶岩類（An-Q）」の分布が示されており、同説明書では、「積丹岳安山岩は、積丹岳、ポンネアンチシ山から大森山にかけての南北の陵線に沿った高い所と、泥ノ木山周辺に分布する」と記載がある（図 4.1-3 においては、これに相当する範囲を着色している）。このうち泥ノ木山は、「古平および幌武意」では第四紀*火山噴出物は分布せず、中新世～鮮新世*の集塊岩が分布するとされており、両者で情報が整合

しない。

以上のことから、「積丹岳」は最新活動年代が第四紀と評価できる年代測定値が得られており、それに相反する層序等の情報が認められないため、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らかといえる。

(2) 火口・カルデラなどの分布

既存文献に基づく情報は以下のとおりである。

根本 (1942) において、「本火山は解析度進み現在に於ては北東兩側に於て僅かに火山原形を止むるに過ぎず、特に頂上附近に於ける變形著しく火口の認められるべきものなし」とされている。ただし、「積丹岳, 余別岳 2 山頂を連ぬる半圓形山稜は南東に開いて爆裂火口状を呈す」(根本, 1942)とも指摘している。一方, 山岸・石井 (1979) では, この地形を「積丹岳南方地すべり」として認定し, 「積丹岳, 余別岳, ポンネアンチシ山を結ぶ新期溶岩類の中心部を発生点とし, 下位の尾根内層の上に広がっている」と指摘している (図 4.1-5)。

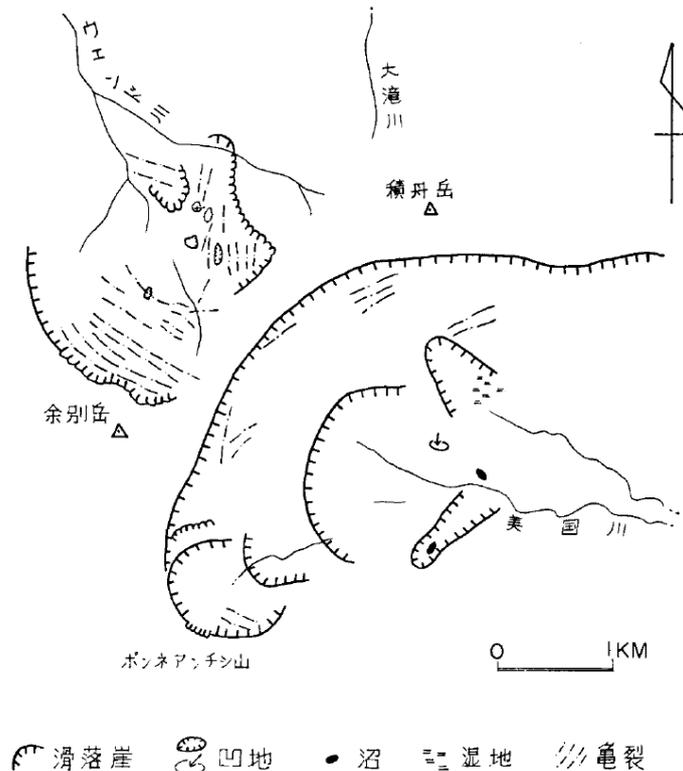
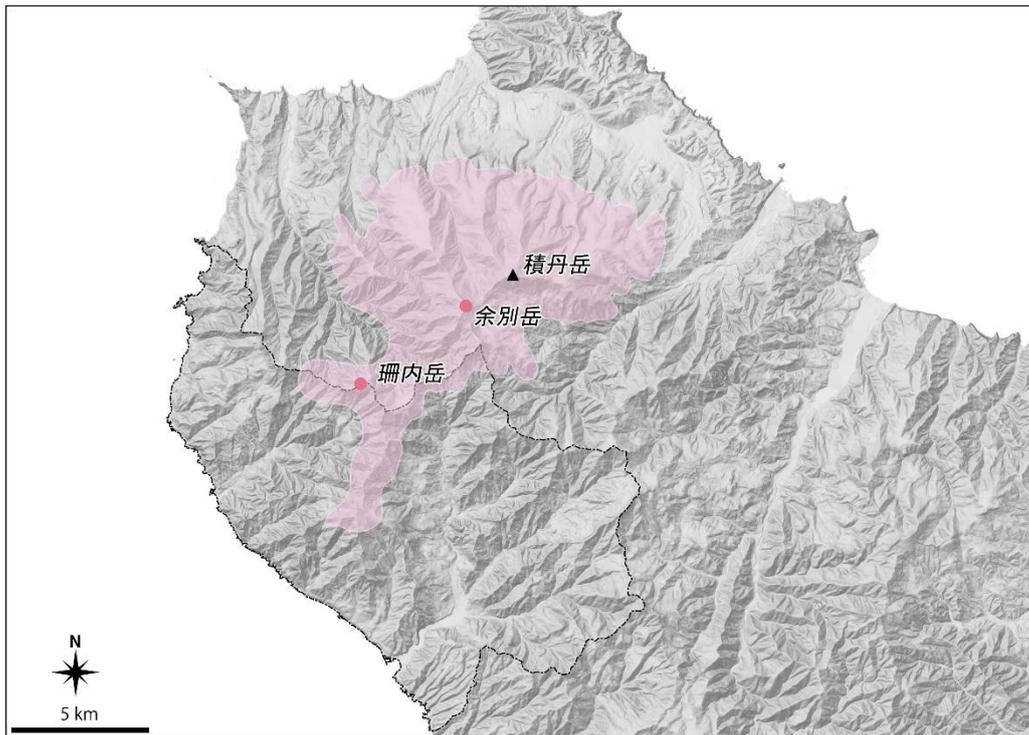


図 4.1-5 積丹岳南方地すべり (山岸・石井, 1979)

西来ほか編 (2012) は, 第四紀火山の主要な位置とは別に, 「個々の噴出・貫入地点」として 2 カ所の地点を描いている (図 4.1-6)。その定義や抽出基準については記されていないが, それぞれの地点は, 余別岳 (1297.7 m), 珊内岳 (1091.2 m) の山頂を示している。

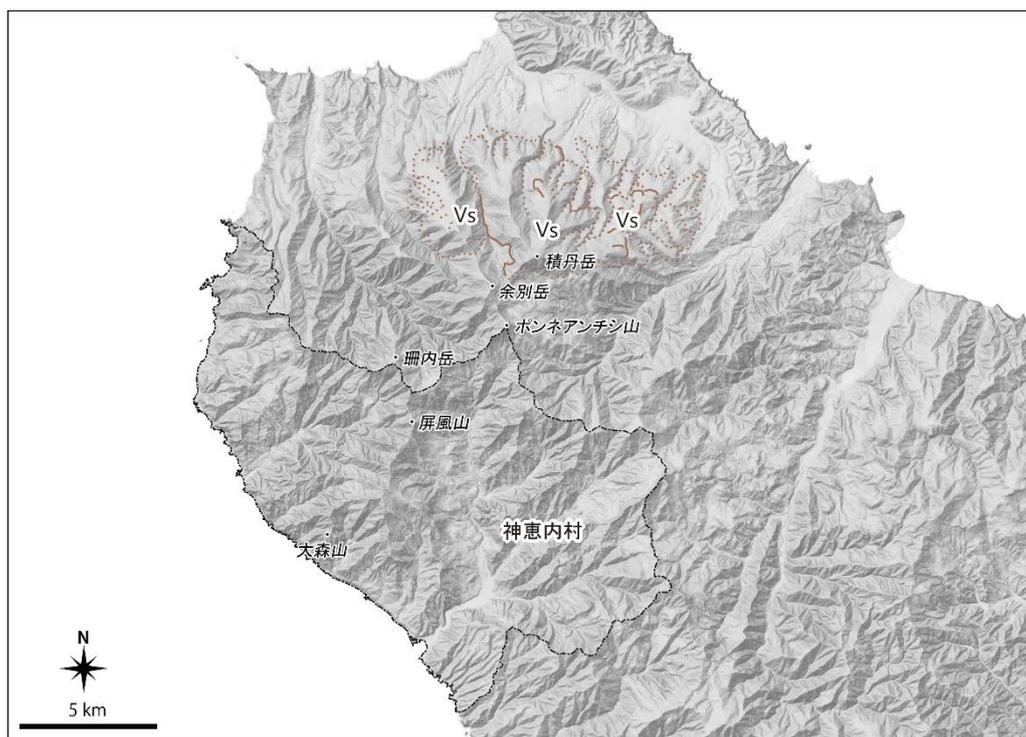


● 個々の噴出・貫入地点 ▲ 主要な位置 ■ 第四紀火山の火山岩分布

図 4.1-6 積丹岳周辺の個々の噴出・貫入地点の分布

西来ほか編（2012）、中野ほか編（2013）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

また、本調査で行った地形判読の結果、火口やカルデラと考えられる明瞭な凹地形は認められず、火山原面（表 4.1-1 参照）のみが確認できた（図 4.1-7）。



— Vs 火山原面(明瞭) Vs 火山原面(不明瞭)

図 4.1-7 積丹岳の地形判読結果

基図として「地理院タイル(陰影起伏図および傾斜量図)」(国土地理院)を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報(行政区域データ)」(国土交通省)に基づく。

以上のことから、地質や地形の観点に基づいて、「積丹岳」の活動に伴い形成された火口、火道、カルデラであることが明確に確認できる地点は認められない。

(3) 火山を代表する地点

火山を代表する地点として、中野ほか編(2013)は、「代表的な火山の最高標高点」として積丹岳山頂付近の三角点(1,255.4 m)を示しており、この山体・火山噴出物分布域の概ね中央部で、高標高部に位置する。西来ほか編(2012)は中野ほか編(2013)と同じ座標を示している。第四紀火山カタログ委員会編(1999)および気象庁ホームページaに積丹岳に関する記載はない。なお、「積丹岳」には、積丹岳よりも高標高の余別岳(1,297.7 m)が存在する。

4.2 その他の火山活動

本節では、4.1「既知の第四紀火山」のほかに「第四紀の活動の可能性が指摘されている火山」、「噴出時期が明らかでない火山」について、1.2.1~1.2.3に示す評価の考え方に従い、必要な情報の整理・検討を行った。さらに、火山活動の痕跡を示すものとして、「貫入岩・岩脈」についても同様に実施した。

4.2.1 第四紀の活動の可能性が指摘されている火山

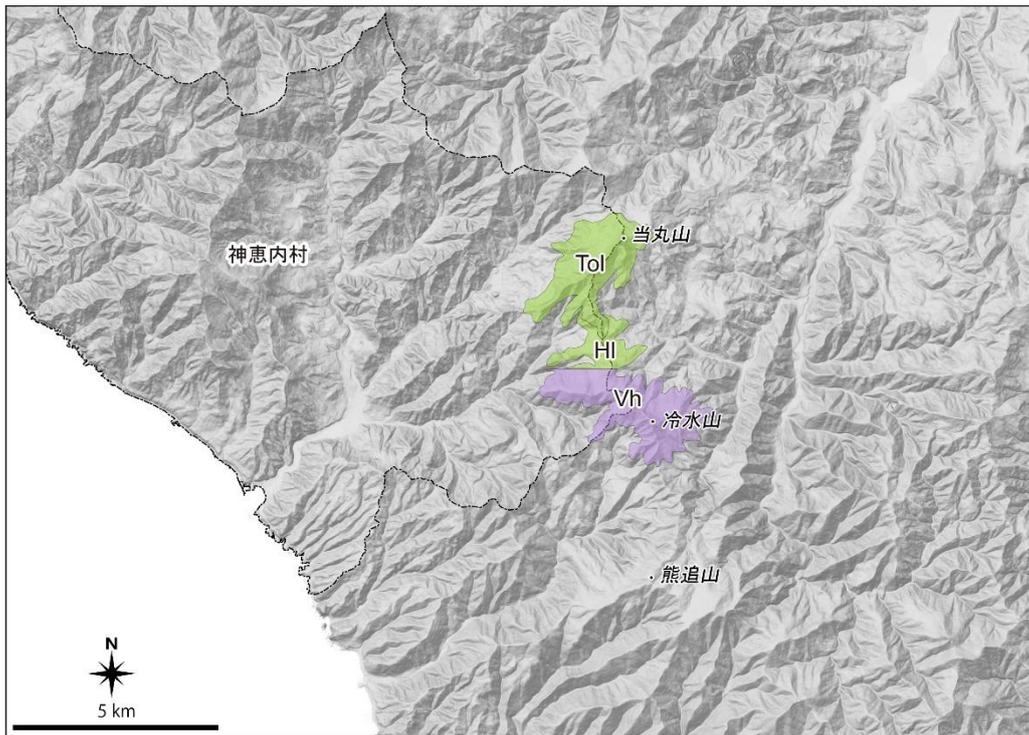
本項では、第四紀火山岩体・貫入岩体データベース（西来ほか編，2012）において第四紀の活動の可能性が指摘されているものを対象として、火山噴出物の分布や新旧関係の整理を行った。

西来ほか編（2012）によると、本データベースは「従来の第四紀火山データベースでは認識されていない“第四紀”に活動した火山岩体および、“第四紀”に貫入・固結し、その後の隆起・侵食作用によって地表に露出した貫入岩体を採録」したものと記載されている。また、「文献調査で最終判断がつかずに要検討と判断されるものは、“追加研究の必要性有”として明記の上、データベースに取り込んで」いること、「各データは現時点までに得られている調査研究結果に基づくものであり、今後の調査研究の進展に伴い大幅に変更される場合もある」ことが注意点として記載されている。

さらに、「“第四紀”に活動した可能性のある火山岩体・貫入岩体の拾い漏れをできる限り少なくするため、データ採録の範囲を3 Ma以内とし」、「厳密には、第四紀に帰属しない可能性のある火山岩体・貫入岩体も含まれている可能性」があるとしている。

文献調査対象地区から15 km以内には、「熊追山」（西来ほか編，2012）が示されている。「熊追山」周辺の火山噴出物の分布を5万分の1地質図幅（根本ほか，1955；斎藤ほか，1952）および「積丹地域地質図」（通商産業省資源エネルギー庁，1985）に基づいて整理し、ここでは当丸山、冷水山、熊追山などを包括する一つの火山岩体として第四紀の活動性に関する検討を行った。

「熊追山」の活動に伴うものと考えられる火山噴出物の分布を図4.2-1および図4.2-3に、また、地質図幅および地質図による地質層序を図4.2-2および図4.2-4に示す。



■ 1 ■ 2

図 4.2-1 5 万分の 1 地質図幅による熊追山周辺の火山噴出物の分布

1：斎藤ほか（1952），2：根本ほか（1955）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。図中の記号（地層・岩体名など）については以下を参照。

1：5 万分の 1 地質図幅「古平および幌武意」（斎藤ほか，1952）より，HI：熔岩 - 冷水山熔岩噴出物 - 石英含有両輝石角閃石安山岩，Tol：熔岩 - 当丸山熔岩 - 橄欖石含有両輝石安山岩

2：5 万分の 1 地質図幅「茅沼」（根本ほか，1955）より，Vh：冷水山噴出物 - 安山岩，集塊岩

(a) 5万分の1地質図幅「古平および幌武意」

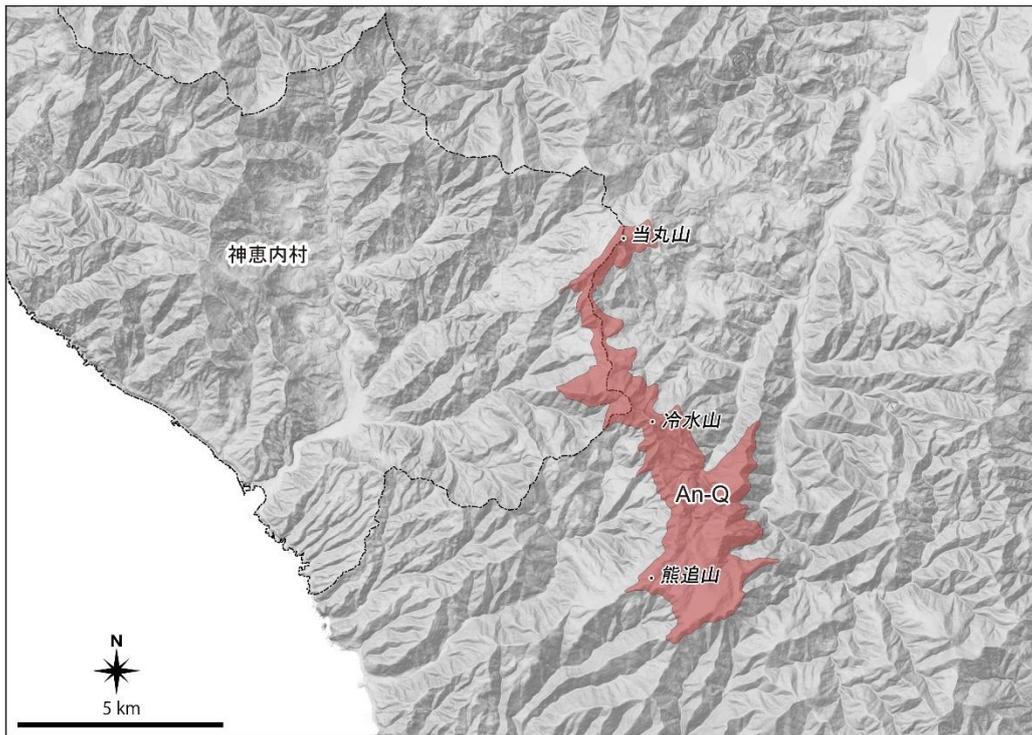
時 代		層 序		
第 四 紀	現世	沖 積 層		
	更新世	段 丘 堆 積 層		
新 第 三 紀	鮮 新 世 ? 中 新 世	黒 松 積 丹 層 群	上部集塊岩層	
			凝灰質砂岩 泥岩互層	
			凝灰岩層	
			中部集塊岩層	上部層
				中部層
				下部層
			下部集塊岩層	
			変朽安山岩	
			真 岩 層	粗粒玄武岩
				流紋岩
砂岩頁岩互層				
集塊岩層				
変朽安山岩				

(b) 5万分の1地質図幅「茅沼」

第 四 系 *	現世	氾濫原堆積層		冷 水 山 噴 出 物	
	更新世	砂丘層			
新 第 三 系 *	新 世	幌似火山灰層	赤井川火山噴出物	稲倉石山噴出物	
		発足礫層	余市川礫層		
新 第 三 系 *	積 丹 層 群	滝ノ潤砂礫層		安 山 岩 質 粗 粒 玄 武 岩 輝 緑 岩 質	
		瀨棚	古平川累層 (火山岩相)		
		黒松	集塊岩層		新期流紋岩
		八雲	上部砂岩頁岩互層		砂岩頁岩互層
			真岩層		集塊岩層
		訓	下部砂岩頁岩互層		変朽安山岩
			礫岩層		緑色凝灰岩層
		縫	礫岩層		未分層
			流紋岩		
		先白堊系	夾炭砂岩頁岩互層		砂岩、頁岩、礫岩
緑色凝灰岩層	淡色安山岩				
		リヤムナイ層			

図 4.2-2 5 万分の 1 地質図幅による地質層序 (熊追山)

(a) は根本ほか (1955), (b) は斎藤ほか (1952) より一部抜粋し, デジタイジングを行った。太文字は図 4.2-1 に示す火山噴出物に相当する。



■ 1

図 4.2-3 積丹地域地質図による熊追山周辺の火山噴出物の分布

1：通商産業省資源エネルギー庁（1985）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。図中の記号（地層・岩体名など）については以下を参照。

1：「積丹地域地質図 1/50,000」（通商産業省資源エネルギー庁，1985）より，An-Q：新期溶岩類 - 角閃石安山岩・輝石安山岩

地質時代		地層名
第四紀*	完新世	沖積層
	更新世*	産雜 地すべり 段丘堆積物
		溶岩類
		野塚累層
新第三紀*	鮮新世*	余別累層
		後期
	中期	古宇川累層
		古平累層上部
	前期	古平累層下部
		茅沼累層
	先第三紀	

図 4.2-4 積丹地域地質図による地質層序（熊追山）

通商産業省資源エネルギー庁（1985）より一部抜粋し、デジタイジングを行った。太文字は図 4.2-3 に示す火山噴出物に相当する。

これらによると、火山噴出物の分布範囲は、東西約 5 km、南北約 10 km にわたり、神恵内村の南東端部に及んでいる。

「熊追山」の活動に伴うと考えられる地層・岩体は、根本ほか（1955）では、下位より「冷水山熔岩（HI）」、「当丸山熔岩（ToI）」の 2 つに区分される（図 4.2-1）。また、斎藤ほか（1952）では、「冷水山噴出物（Vh）」が示されており（図 4.2-1）、その分布は根本ほか（1955）の「冷水山熔岩（HI）」と連続することから（図 4.2-1）、同じ火山噴出物を指しているものと考えられる。また、通商産業省資源エネルギー庁（1985）では、「新期溶岩類（An-Q）」として分布が示されており（図 4.2-3）、調査報告書では、「熊追山安山岩は、熊追山を中心に南北に細長く分布する」と記載がある。

西来ほか編（2012）によれば、熊追山は鮮新世後期～第四紀前期に活動した可能性があるとされているが、活動時期を特定する年代測定データなどは示されていない。さらに、西来ほか編（2012）

は、「石田ほか(1991)によって熊追山周辺は鮮新世の噴出物とされているが、尾根内層の上位の可能性があるため、鮮新世から第四紀前期の可能性はある」としている。尾根内層では、広瀬(2000)により、文献調査対象地区西部、大森山付近の安山岩から 2.54 ± 0.13 Ma (K-Ar年代)が報告されている。ただし、同文献内で「尾根内層」の分布は示されておらず、また、同じ尾根内層で広瀬(2000)は、 11.22 ± 0.57 Ma, 7.62 ± 0.39 Ma, 3.81 ± 0.20 Ma (すべてK-Ar年代)といった結果も報告していることから、この付近の地層分布および区分に課題があると考えられる。

通商産業省資源エネルギー庁(1985)において、「熊追山安山岩」は「第四紀*の活動と考えられる新期溶岩類」とされているものの、年代測定データは得られていない。また、根本ほか(1955)によれば、具体的な根拠は記載されていないが、当丸山熔岩は冷水山熔岩の上位とされており、これらを覆う地層に関する記載は見当たらない。なお、これらの溶岩は中新世の地層(古平川累層)を覆っていると読み取れる。また、冷水山の山頂(標高約784m)と熊追山の山頂(標高約805m)は標高差が小さいことから、複数の火口から噴出した可能性も考えられるが、層序関係や活動時期は明らかでない。

以上のことから、「熊追山」は、西来ほか編(2012)によって、第四紀の活動の可能性が指摘されているものの、年代測定データが得られていないことや、層序の観点からも本溶岩の噴出年代の特定に資するデータが得られていないことなどから、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

4.2.2 噴出時期が明らかでない火成岩類

本項では、中野ほか編(2013)や西来ほか編(2012)などの既存文献では指摘されていないものの、地質図幅および地質図の記述から、第四紀の活動を否定できない地層・岩体を抽出し、最新活動時期に関する検討を行った。なお、4.1および4.2.1で検討対象とした地層・岩体および4.2.3で対象とする貫入岩や岩脈は別に示す。

「鮮新世*」以降の地層・岩体を漏れなく抽出するため(1.2参照)、ここでは新第三紀*~第四紀*に区分されている地層・岩体を対象とし、文献調査対象地区の行政界からおおむね15km以内に分布が及ぶものを抽出した。これらについて、第四紀の活動を否定できないものと否定できるものとの判別を行った。

5万分の1地質図幅を確認した結果、前述で抽出した地層・岩体のうち、第四紀の活動を否定できない火成岩として15の地層・岩体を抽出した(表4.2-1)。このうち、4つの地層・岩体は、山体の広がりや山体同士の離隔、層序を考慮し「(1) 稲倉石山・天狗岳・湯内岳」としてまとめ、最新活動時期に関する検討を行った。残りの11の地層・岩体(表4.2-1参照)は、「(2) その他の火成岩類」において分析を行った。なお、第四紀に噴出したことが明確な地層・岩体は新たに抽出されなかった。

表 4.2-1 第四紀の活動を否定できない火成岩類 (5 万分の 1 地質図幅)

記載箇所	抽出した地層・岩体名
(1)稲倉石山・天狗岳・湯内岳	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熔岩-湯内嶽熔岩-橄欖石含有両輝石安山岩(YI) (根本ほか, 1955) ・ 熔岩-天狗嶽熔岩-両輝石安山岩(Tel) (根本ほか, 1955) ・ 熔岩-稲倉石山熔岩-石英含有角閃石普通輝石安山岩(II) (根本ほか, 1955) ・ 稲倉石山噴出物-安山岩, 火山砕屑岩(Vi) (斎藤ほか, 1952)
(2)その他の火成岩類	<ul style="list-style-type: none"> ・ 野塚層-安山岩溶岩-普通輝石しそ輝石安山岩(NI) (山岸・石井, 1979) ・ 余別層-火砕岩部層-石英含有黒雲母角閃石安山岩(Yv) (山岸・石井, 1979) ・ 尾根内層-火砕岩部層-石英含有角閃石安山岩質水冷破碎岩および同質火山円礫岩(Vh) (山岸・石井, 1979) ・ 積丹層群-美国-湯内累層-上部集塊岩層-集塊岩(熔岩・凝灰岩を伴う)(Bu) (根本ほか, 1955) ・ 積丹層群-美国-湯内累層-凝灰岩層-流紋岩質凝灰岩(Bt) (根本ほか, 1955) ・ 積丹層群-美国-湯内累層-中部集塊岩層-上部層-集塊岩・凝灰質砂岩および凝灰岩(Bm3) (根本ほか, 1955) ・ 積丹層群-美国-湯内累層-中部集塊岩層-中部層-集塊岩(熔岩・凝灰岩・凝灰質砂岩を伴う)(Bm2) (根本ほか, 1955) ・ 積丹層群-美国-湯内累層-中部集塊岩層-下部層-集塊岩・凝灰質砂岩および凝灰岩(Bm1) (根本ほか, 1955) ・ トーマル川層-角閃石石英安山岩質水冷破碎岩(Dh) (山岸, 1980) ・ 尾根内層-石英含有角閃石安山岩質水冷破碎岩および火山円礫岩(Vh) (山岸, 1980) ・ 積丹層群-古平川累層-新期流紋岩-流紋岩(Ry) (斎藤ほか, 1952)

また、積丹地域地質図(通商産業省資源エネルギー庁, 1985)およびニセコ地域地熱地質編図(新エネルギー総合開発機構, 1987a)を確認した結果、第四紀の活動を否定できない火成岩として、4つの地層・岩体を抽出した(表 4.2-2)。このうち、1つの地層・岩体は、前述の「(1) 稲倉石山・天狗岳・湯内岳」に相当する。残りの3の地層・岩体は、「(2) その他の火成岩類」において分析を行った。なお、第四紀に噴出したことが明確な地層・岩体は新たに抽出されず、ニセコ地域地熱地質編図で該当する地層・岩体はなかった。

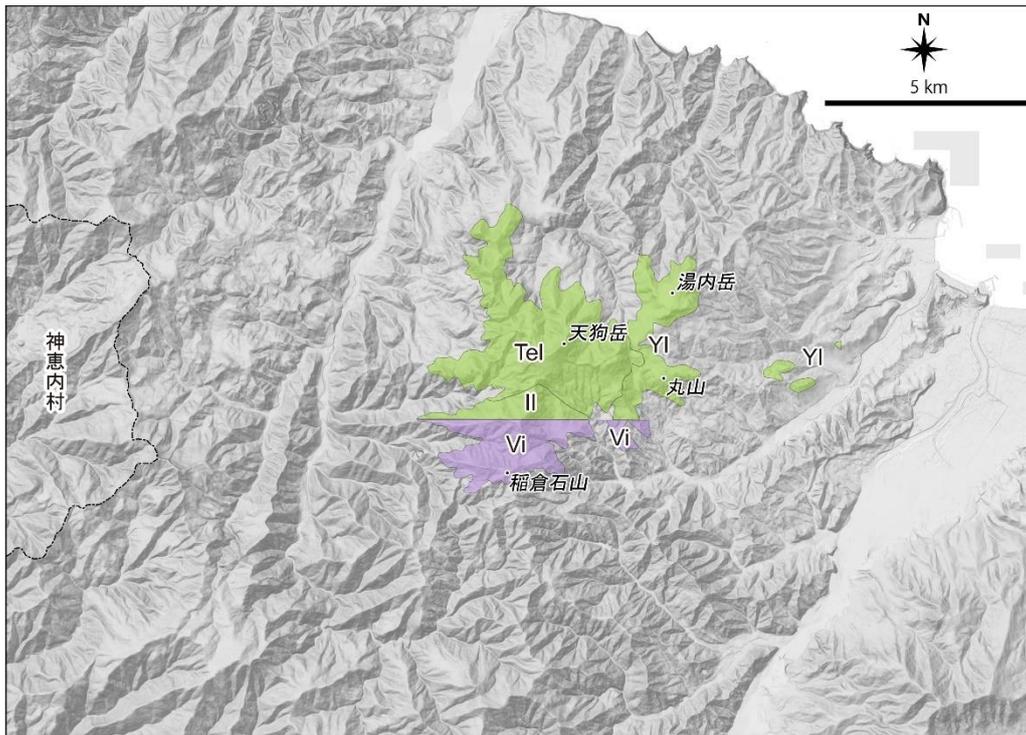
表 4.2-2 第四紀の活動を否定できない火成岩類（積丹地域地質図）

記載箇所	抽出した地層・岩体名
(1)稲倉石山・ 天狗岳・湯内岳	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新期溶岩類-角閃石安山岩・輝石安山岩(An-Q)
(2)その他の 火成岩類	<ul style="list-style-type: none"> ・ 野塚累層-石英安山岩(Da-N) ・ 野塚累層-含石英安山岩質火山角礫岩(Ta-N) ・ 余別累層-安山岩質水冷破碎岩(Hy-Yo)

海域に分布する火成岩については、「沿岸海の基本図（5 万分の 1）寿都」（海上保安庁水路部，1995）および「積丹半島付近海底地質図」（岡村・佐藤，2023）に基づき、「(3) 沿岸海域の火成岩類」において分析を行った。

(1) 稲倉石山・天狗岳・湯内岳

ここでは、稲倉石山，天狗岳，湯内岳および丸山を包括する一つの火山岩体を「稲倉石山・天狗岳・湯内岳」として検討した。「5 万分の 1 地質図幅」（根本ほか，1955；斎藤ほか，1952）および「積丹地域地質図」（通商産業省資源エネルギー庁，1985）に基づき，火山噴出物の分布を整理した（図 4.2-5 および図 4.2-7）。また，それぞれの地質図幅および地質図による地質層序を図 4.2-6 および図 4.2-8 に示す。これらによると，火山噴出物の分布範囲は前者の方が広く，東西および南北ともに約 7 km にわたり，その分布域は神恵内村に及んでいない。



■ 1 ■ 2

図 4.2-5 5 万分の 1 地質図幅による稲倉石山・天狗岳・湯内岳周辺の火山噴出物の分布

1：斎藤ほか（1952），2：根本ほか（1955）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。図中の記号（地層・岩体名など）については以下を参照。

1：5 万分の 1 地質図幅「古平および幌武意」（斎藤ほか，1952）より，YI：熔岩 - 湯内嶽熔岩 - 橄欖石含有両輝石安山岩，Tel：熔岩 - 天狗嶽熔岩 - 両輝石安山岩，II：熔岩 - 稲倉石山熔岩 - 石英含有角閃石普通輝石安山岩

2：5 万分の 1 地質図幅「茅沼」（根本ほか，1955）より，Vi：稲倉石山噴出物 - 安山岩，火山碎屑岩

(a) 5万分の1地質図幅「古平および幌武意」

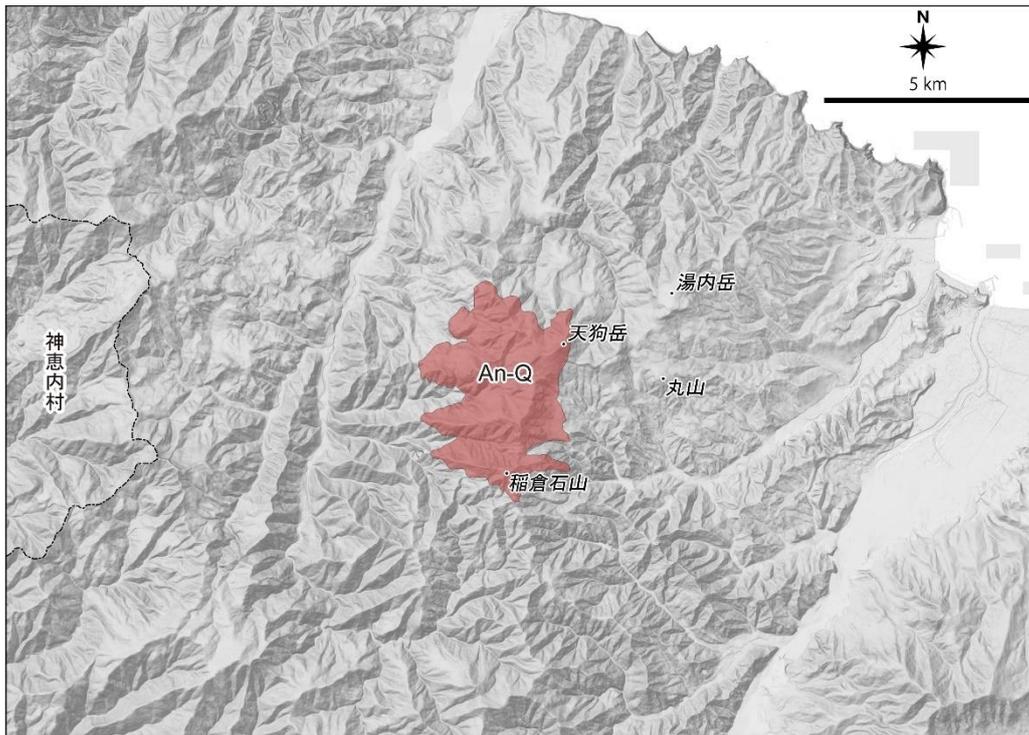
時代		層序		
第四紀	現世	沖積層		
	更新世	段丘堆積層		
		火山噴出物		
新第三紀	鮮新世	黒松内期	上部集塊岩層	
			凝灰質砂岩 泥岩互層	
			凝灰岩層	
			中部集塊岩層	
			上部層	
			中部層	
	中新世	八雲期 訓縫期	古平川累層	下部層
				下部集塊岩層
				変朽安山岩
				頁岩層
				粗粒玄武岩 流紋岩
新世	訓縫期	古平川累層	砂岩頁岩互層	
			集塊岩層	
			変朽安山岩	
			変朽安山岩	

(b) 5万分の1地質図幅「茅沼」

第四系*	現世	氾濫原堆積層 砂丘層			
	更新世	幌似火山灰層	赤井川火山噴出物	冷水山噴出物	
		発足礫層	余市川礫層	稻倉石山噴出物	
新第三系*	瀬棚	滝ノ潤砂礫層			
		黒松内期			
	八雲丹層	泊累層(水成岩相)	集塊岩層	砂岩頁岩互層	安山岩質
		頁岩層	上部砂岩頁岩互層	集塊岩層	粗粒玄武岩
		下部砂岩頁岩互層	変朽安山岩	変朽安山岩	
		礫岩層	綠色凝灰岩層	綠色凝灰岩層	
	訓縫群	茅沼累層	礫岩層	流紋岩類	輝緑岩質
		流紋岩	同質火山碎屑岩類	未分層	
		夾炭砂岩頁岩互層	砂岩、頁岩、礫岩		
		綠色凝灰岩層	淡色安山岩		
	先白堊系		リヤムナイ層		

図 4.2-6 5 万分の 1 地質図幅による地質層序 (稲倉石山・天狗岳・湯内岳)

(a) は根本ほか (1955), (b) は斎藤ほか (1952) より一部抜粋し, デジタイジングを行った。太文字は図 4.2-5 に示す火山噴出物に相当する。



■ 1

図 4.2-7 積丹地域地質図による稲倉石山・天狗岳・湯内岳周辺の火山噴出物の分布

1：通商産業省資源エネルギー庁（1985）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。図中の記号（地層・岩体名など）については以下を参照。

1：「積丹地域地質図 1/50,000」（通商産業省資源エネルギー庁，1985）より，An-Q：新期溶岩類 - 角閃石安山岩・輝石安山岩

地質時代		地層名	
第四紀*	完新世	沖積層	
	更新世*	段丘堆積物	
溶岩類			
新第三紀*	鮮新世*	野塚累層	
		余別累層	
	中新世	後期	豊浜累層
		中期	古宇川累層
		前期	古平累層上部
	古平累層下部		
		茅沼累層	
先第三紀		基盤岩類	

図 4.2-8 積丹地域地質図による地質層序（稲倉石山・天狗岳・湯内岳）

通商産業省資源エネルギー庁（1985）より一部抜粋し、デジタイジングを行った。太文字は図 4.2-7 に示す火山噴出物に相当する。

また、本調査で実施した地形判読の結果、火口・カルデラとみられる地形は認められなかった。一方、根本ほか（1955）によれば、湯内岳北方の余市鉦山周辺および天狗岳北方に「カルデラ状の凹地がある」とされており、「これらはその一部分がその後の火山噴出物によって埋没され、また侵蝕作用によって変形しているが、その生成については第三紀末期の火山活動に関連して生じたカルデラによるものか、あるいは岩質による侵蝕差によるものか明らかでない」とされている。

5 万分の 1 地質図幅（根本ほか，1955；斎藤ほか，1952）に基づけば、本火山岩体は下位から湯内岳熔岩、天狗嶽熔岩および稲倉石山熔岩の 3 つの地層・岩体で構成されるとしているが、これらの層位学的上下関係について具体的な記載は確認されなかった。

積丹地域地質図（通商産業省資源エネルギー庁，1985）では第四紀*の活動と考えられる新期溶岩類（An-Q）として区分されており、「天狗岳安山岩は、地域東部天狗岳を中心に円形状に分布する」と記載されているが、その形成時期を第四紀*とした根拠については記されていない。また、同地質

図の野塚累層の一部を天狗岳安山岩が覆って分布するが、野塚累層は「珪藻化石からは、*D*⁹ . *Seminae* v. f. -*D. Kamtschatica* 帯に対比」されることが示されており、秋葉（1983）の珪藻化石帯区分に基づけば、野塚累層の形成年代は3.2～2.4 Ma と推定される。このことから、野塚累層の上位層にあたる天狗岳安山岩の年代は、第四紀に及ぶ可能性が考えられる。

また、Watanabe (1990)では、天狗岳熔岩の分布域から3.3±0.2 Ma の K-Ar 年代が得られている。ただし、この年代測定試料は天狗岳熔岩の末端部（標高約 435 m）から採取されており、これより高標高にも天狗岳熔岩が分布している（天狗岳頂上標高 872.4 m）ため、得られた年代測定値は最新活動年代でない可能性がある。なお、湯内岳熔岩および稲倉石山熔岩については年代測定に関する情報は認められない。

以上のことから、「稲倉石山・天狗岳・湯内岳」は、第四紀の活動に伴う噴出物である可能性はあるものの、最新活動年代を評価できる年代測定データが得られていないことと、文献に示された層序についてその明確な根拠が確認できないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

(2) その他の火成岩類

前述の「稲倉石山・天狗岳・湯内岳」以外に、5 万分の 1 地質図幅から、山体を形成しないものの、第四紀の活動を否定できない火成岩として、11 の地層・岩体を抽出した（図 4.2-9）。

⁹ 「*Denticulopsis*」の略記。

各地層・岩体の活動時期について、以下のとおり分析を行った。

① 野塚層—安山岩溶岩—普通輝石しそ輝石安山岩 (N1) (山岸・石井, 1979)

野塚層は、山岸・石井 (1979) において鮮新世の地層として区分され、神威岬付近に分布している。当該安山岩溶岩と第四紀の活動が明らかである積丹岳溶岩・大森山溶岩の接触関係を示す記述はないが、当該安山岩溶岩の下位の野塚層砂岩礫岩層は、「従来の瀬棚層に相当する」(山岸・石井, 1979) と記されている。「従来の瀬棚層」の年代については不明であるが、例えば、能條ほか (1999) によると、「瀬棚層の堆積開始年代は 1.2 Ma 頃といえる」との記載があり、瀬棚層の堆積時期は第四紀を含む可能性も考えられる。よって、その上位層に当たる当該安山岩溶岩の活動時期は、第四紀に及ぶ可能性がある。

また、当該安山岩溶岩の分布域は、通商産業省資源エネルギー庁 (1985) の「新期溶岩類 - 角閃石安山岩・輝石安山岩 (An-Q) (第四紀*)」の分布域に相当する。さらに、山岸・石井 (1979) と分布が整合しない領域も多いが、通商産業省資源エネルギー庁 (1985) において野塚層は、珪藻化石・ナンノ化石から鮮新世*~更新世*と考えられるとの記載がある。ただし、当該安山岩溶岩の年代測定データに係る情報はない。

以上のことから、野塚層の安山岩溶岩は、層位学的上下関係から第四紀の活動に伴うものである可能性があるものの、最新活動年代を評価できる年代測定データが得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

② 余別層—火砕岩部層—石英含有黒雲母角閃石安山岩 (Yv) (山岸・石井, 1979)

当該火砕岩部層が分布する領域において、 3.66 ± 0.19 Ma (前期鮮新世) の K-Ar 年代が報告されている (広瀬ほか, 2000)。ただし、当該火砕岩部層の分布は広域に及ぶことから、この年代測定値が最新活動時期を示していない可能性も考えられる。また、当該火砕岩部層の上位層は「野塚層砂岩礫岩層」であるが、その形成時期は、①で記したように第四紀を含む可能性がある。当該火砕岩部層の下位層である余別層シルト岩部層より産出された珪藻化石について、嵯峨山 (2002) は本山・丸山 (1998) および Yanagisawa & Akiba (1998) の *Thalassiosira oestrupii* 帯 (それぞれ 5.49~3.95-3.53 Ma, 5.5~3.9-3.5 Ma) に対比している。これらの層位学的上下関係から、当該火砕岩部層の活動時期は鮮新世~更新世であると考えられ、明確な活動時期を特定することはできない。

以上のことから、余別層の火砕岩部層は、鮮新世の活動年代を示すデータが得られているものの最新活動時期を特定できる年代測定データが得られていないことや、層序の観点からも活動時期の特定に資するデータが得られていないことなどから、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

③ 尾根内層—火砕岩部層—石英含有角閃石安山岩質水冷破碎岩および同質火山円礫岩 (Vh) (山岸・石井, 1979)

当該火砕岩部層が分布する領域において、広瀬ほか (2000) により、 2.54 ± 0.13 Ma (第四紀) (広瀬ほか, 2000) の K-Ar 年代が報告されている。しかし、広瀬ほか (2000) は同尾根内層の別の領域から、 11.22 ± 0.57 Ma, 7.62 ± 0.39 Ma, 3.81 ± 0.20 Ma (すべて K-Ar 年代) といった中期

中新世から鮮新世を示す年代測定値も報告している。この「尾根内層」を、山岸・石井（1979）は中新世の地層としている。

さらに、 2.54 ± 0.13 Ma の年代試料採取位置付近の地質について、斎藤・松下（1968）は、積丹岳安山岩に相当する新規火山噴出物の分布域としている。

これらより、本年代試料採取位置付近の地層分布および区分に課題があると考えられる。

以上のことから、尾根内層の一部で、第四紀の活動を示す年代測定値が得られており、第四紀の活動に伴う噴出物である可能性はあるものの、年代試料採取位置付近の地層分布および区分に課題があることから、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

④ 積丹層群－美国－湯内累層－上部集塊岩層－集塊岩（熔岩・凝灰岩を伴う）(Bu)（根本ほか、1955）

根本ほか（1955）に基づけば、当該集塊岩層は「上部黒松内統」に対比されるとの記載がある。根本ほか（1955）は「黒松内期（鮮新世*）」との見解を示しているが、その根拠は確認できない。ただし、国際地質科学連合（IUGS）による地質年代の再定義を考慮すると、本層の形成時期は第四紀に及ぶ可能性がある。

一方、当該集塊岩層は、その分布域から通商産業省資源エネルギー庁（1985）の豊浜累層に相当すると考えられ、同文献では後期中新世に区分されている。さらに、広瀬ほか（2000）は当該集塊岩層の分布域において「尾根内層」として、 7.62 ± 0.39 Ma（後期中新世）の K-Ar 年代を示している。これらの情報は、根本ほか（1955）の見解と整合しない。

以上のことから、美国－湯内累層の上部集塊岩層は、層序の観点からは鮮新世～更新世の活動によるものであることを示唆する情報も確認できるが、複数の地質図で層序に関する見解が整合していない。また、年代測定データからは後期中新世を示す年代測定値も報告されているが、年代観に矛盾が生じていることから、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

⑤ 積丹層群－美国－湯内累層－凝灰岩層－流紋岩質凝灰岩 (Bt)（根本ほか、1955）

当該凝灰岩層は、根本ほか（1955）により「黒松内統の集塊岩層中にはさまれて存在」との記載がある。④に記したように、根本ほか（1955）は「黒松内期（鮮新世*）」との見解を示しており、国際地質科学連合（IUGS）による地質年代の再定義を考慮すると、本層の形成時期は第四紀に及ぶ可能性がある。ただし、それを裏付ける年代測定データなどは認められなかった。

以上のことから、美国－湯内累層の凝灰岩層は、層序の観点からは鮮新世～更新世の活動によるものであることを示唆する情報も確認できるが、年代測定データは得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

⑥ 積丹層群－美国－湯内累層－中部集塊岩層－上部層－集塊岩・凝灰質砂岩および凝灰岩 (Bm3)（根本ほか、1955）

当該集塊岩層は、根本ほか（1955）において、「本層は小樽西部図幅の上部凝灰質砂岩層に対比される」との記載があり、小樽西部図幅（猪木・垣見、1954）の上部凝灰質砂岩層は、同文献に

において鮮新世*に区分されている。このことから、国際地質科学連合（IUGS）による地質年代の再定義を考慮すると、本層の形成時期は第四紀に及ぶ可能性がある。ただし、それを裏付ける年代測定データなどは認められなかった。

以上のことから、美国－湯内累層の中部集塊岩層の上部層は、層序の観点からは鮮新世～更新世の活動によるものであることを示唆する情報も確認できるが、年代測定データは得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

⑦ 積丹層群－美国－湯内累層－中部集塊岩層－中部層－集塊岩（熔岩・凝灰岩・凝灰質砂岩を伴う）（Bm2）（根本ほか，1955）

当該集塊岩層は、「典型的な黒松内型集塊岩である」との記載がある。④に記したように、根本ほか（1955）は「黒松内期（鮮新世*）」との見解を示しており、国際地質科学連合（IUGS）による地質年代の再定義を考慮すると、本層の形成時期は第四紀に及ぶ可能性がある。ただし、それを裏付ける年代測定データなどは認められなかった。

以上のことから、美国－湯内累層の中部集塊岩層の中部層は、層序の観点からは鮮新世～更新世の活動によるものであることを示唆する情報も確認できるが、年代測定データは得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

⑧ 積丹層群－美国－湯内累層－中部集塊岩層－下部層－集塊岩・凝灰質砂岩および凝灰岩（Bm1）（根本ほか，1955）

当該集塊岩層は、根本ほか（1955）において、「小樽西部図幅の小樽累層の下部凝灰質砂岩泥岩層に相当する」とされ、小樽西部図幅（猪木・垣見，1954）の下部凝灰質砂岩層は、同文献において鮮新世*に区分されている。このことから、国際地質科学連合（IUGS）による地質年代の再定義を考慮すると、本層の形成時期は第四紀に及ぶ可能性がある。

一方、本層は通商産業省資源エネルギー庁（1985）の豊浜累層（後期中新世）に相当することから、形成時期についての見解が根本ほか（1955）と整合しない。

以上のことから、美国－湯内累層の中部集塊岩層の下部層は、層序の観点からは鮮新世～更新世の活動によるものであることを示唆する情報も確認できるが、複数の地質図で層序に関する見解が整合していない。また、これらの見解を裏付ける年代測定データは得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

⑨ トーマル川層－角閃石石英安山岩質水冷破碎岩（Dh）（山岸，1980）

トーマル川層（山岸，1980）は、中新世の地層として区分されている。本層は通商産業省資源エネルギー庁（1985）の豊浜累層（後期中新世）、古平累層上部（前期～中期中新世）などに相当し、いずれも中新世に区分されている。

一方で、山岸（1980）によるとトーマル川層は山岸・石井（1979）の余別層に対比されるとの記載がある。②に記したように、余別層シルト岩部層の珪藻帯は、嵯峨山（2002）により本山・丸山（1998）および Yanagisawa & Akiba（1998）の *Thalassiosira oestrupii* 帯（それぞれ 5.49～3.95-3.53

Ma, 5.5～3.9-3.5 Ma) に対比されていることから鮮新世の地層にあたり、その上位層である余別層火砕岩部層の活動時期は、層位学的上下関係から鮮新世～更新世であると本調査では分析した。このことから余別層火砕岩部層と同様に、当該水冷破碎岩の活動時期についても、鮮新世～更新世であると考えられ、明確な活動時期を特定することはできない。なお、トーマル川層において年代測定データは報告されていない。

以上のことから、トーマル川層の水冷破碎岩は、複数の地質図で層序に関する見解が整合しておらず、これらの見解を裏付ける第四紀の年代測定データは得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

⑩ 尾根内層 - 石英含有角閃石安山岩質水冷破碎岩および火山円礫岩 (Vh) (山岸, 1980)

③に記したように、尾根内層の一部で、第四紀の活動を示す年代測定値が得られており、第四紀の活動に伴う噴出物である可能性はあるものの、年代試料採取位置付近の地層分布および区分に課題があることから、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

⑪ 積丹層群 - 古平川累層 - 新期流紋岩 - 流紋岩 (Ry) (斎藤ほか, 1952)

当該流紋岩は古平川累層の最上位に分布し、「新第三系*」に区分されているものの、これを覆う地層・岩体が確認されないことから、層位学的に活動時期を特定することができない。なお、当該流紋岩はその分布域から、通商産業省資源エネルギー庁 (1985) の石英閃緑岩・石英斑岩 (貫入岩類) などに相当することが読み取れるが、年代測定データは認められない。

以上のことから、古平川累層の新期流紋岩は、斎藤ほか (1952) による時代区分から中新世～更新世の活動である可能性のみが示され、活動時期の特定に資するデータが得られておらず、年代測定データも得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

さらに、積丹地域地質図 (通商産業省資源エネルギー庁, 1985) から、火山体を形成しないものの、第四紀の活動を否定できない火成岩として、3つの地層・岩体を抽出した (図 4.2-10)。

地質時代		地層名	
第四紀*	完新世	沖積層	
	更新世*	崖壁・地すべり・段丘堆積物	
		溶岩類	
新第三紀*	鮮新世*	野塚累層 ⑫, ⑬	
		余別累層 ⑭	
	中世	後期	豊浜累層
		中期	古宇川累層
	新世	前期	古平累層上部
			古平累層下部
			茅沼累層
先第三紀		基盤岩類	

図 4.2-10 積丹地域地質図による地質層序（その他の火成岩類）

通商産業省資源エネルギー庁（1985）より一部抜粋し、デジタイジングを行った。太文字および数字は抽出した地層・岩体に相当する。なお、豊浜累層以前に区分される地層・岩体については、第四紀の活動でないことが明らかとみなし、本調査の検討に含めなかった。

各地層・岩体の活動時期について、以下のとおり分析を行った。

- ⑫ 野塚累層－石英安山岩（Da-N）（通商産業省資源エネルギー庁，1985）
- ⑬ 野塚累層－含石英安山岩質火山角礫岩（Ta-N）（通商産業省資源エネルギー庁，1985）

通商産業省資源エネルギー庁（1985）によれば、野塚累層は、固結度の低い砂岩・礫岩互層、シルト岩・砂岩互層を主とし、⑫の石英安山岩および⑬の含石英安山岩質火山角礫岩等を伴うとされている。その時代と対比について、「珪藻化石からは、*D. Seminae* v. f. *-D. Kamtschatica* 帯¹⁰ に対比され、鮮新世*の可能性はあるが、今回の検討では明瞭ではない。又、ナンノ化石からは、第四紀*が少くとも 1.65 Ma よりは若いことが示される。以上 2 種の化石鑑定に若干差が見られるが、本層は一応広義の瀬棚層に対比され、鮮新世*～更新世*に属すると推定される」と示されている。なお、⑫の分布域は、読図から、根本ほか（1955）の「熔岩 - 天狗嶽熔岩 - 両輝石安山岩」

¹⁰ 秋葉（1983）の *D. seminae* v. *fossilis*-*D. kamtschatica* 帯（3.2～2.4 Ma）に対比している。

などに相当すると考えられ、その形成時期は第四紀に及ぶ可能性がある(4.1.3 (1) 参照)。

また、野塚累層は、「下位の余別累層を不整合に覆う部分と、整合的に累重する所がある」と記載がある。余別累層の時代については、「転多の沢のシルト岩からの有孔虫群集は、裏日本油田地域の西山・天徳寺層、又、北海道では道南の館の黒松内層、石狩地域の遠別層上部との対比が可能と思われる。これより時代は鮮新世*以降更新世*に入る可能性もある」(通商産業省資源エネルギー庁, 1985)と記載がある一方で、「余別川下流の角閃石安山岩のフィッシュトラック年代は 6.5 ± 0.6 Ma である」、「花粉化石からは鮮新世*~中新世後期に当ると考えられる」、「珪藻化石の群集は、*D. Kamtschatica* 帯¹¹に対比され、鮮新世前期に相当する」(通商産業省資源エネルギー庁, 1985)など、時代の認定に幅がある。

以上のことから、野塚累層の石英安山岩および含石英安山岩質火山角礫岩は、年代測定値の観点から第四紀の活動に伴う噴出物である可能性を示唆するデータがあるものの、一方で下位層との関係から鮮新世以前の活動の可能性を示唆するデータもあり、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

⑭ 余別累層 - 安山岩質水冷破碎岩 (Hy-Yo) (根本ほか, 1955)

通商産業省資源エネルギー庁(1985)によれば、余別累層は基底部に砂岩・礫岩の互層があり、その上に塊状シルト岩が、さらに最上位に、当該安山岩質水冷破碎岩が分布すると記載がある。⑫、⑬に記したように、その時代認定については幅があり、中新世~更新世*の可能性もある。

以上のことから、余別累層の水冷破碎岩は、第四紀の活動に伴う噴出物である可能性も否定できないが、その分布域から後期中新世を示す年代測定値も得られており、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

なお、ニセコ地域地熱地質編図に該当する地層・岩体は見られなかった。

(3) 沿岸海域の火成岩類

海域の火成岩類を示した文献として、「沿岸海の基本図(5万分の1)寿都」(海上保安庁水路部, 1995)が挙げられる。本文献では、「音波探査記録の解析結果により、調査海域の海底地質を陸上地質等に対比させ、音響的層相の特徴、分布状況及び層厚等相互関係から検討して(中略)火成岩はVIIs層とVIIIs層の2層」に区分したと記載されており(図4.2-11)、文献調査対象地区から30km以内に分布する火成岩類として、2ヵ所、分布が示されている(図4.2-12)。

¹¹ 秋葉(1983)の*D. kamtschatica*帯(6.0~3.2 Ma)に対比している。

時 代		陸上地質層序		音波探査層相	
		堆積岩類	火成岩類	堆積岩類	火成岩類
第四紀*	現世	沖積層		I _s	
	後期更新世	低位段丘堆積物	ニセコ火山群	II _s	VII _s
		高位段丘堆積物		III _s	
	中期更新世	知来層	雷電山火山群	IV _s	
	前期更新世*	瀬棚層		V _s	
新第三紀*	鮮新世*	黒松内層		VI _s	
	中新世	八雲層			

図 4.2-11 沿岸の海の基本図による層序（沿岸海域の火成岩類）

海上保安庁水路部（1995）より一部抜粋し、デジタイジングを行った。太文字は図 4.2-12 に示す火成岩類に相当する。

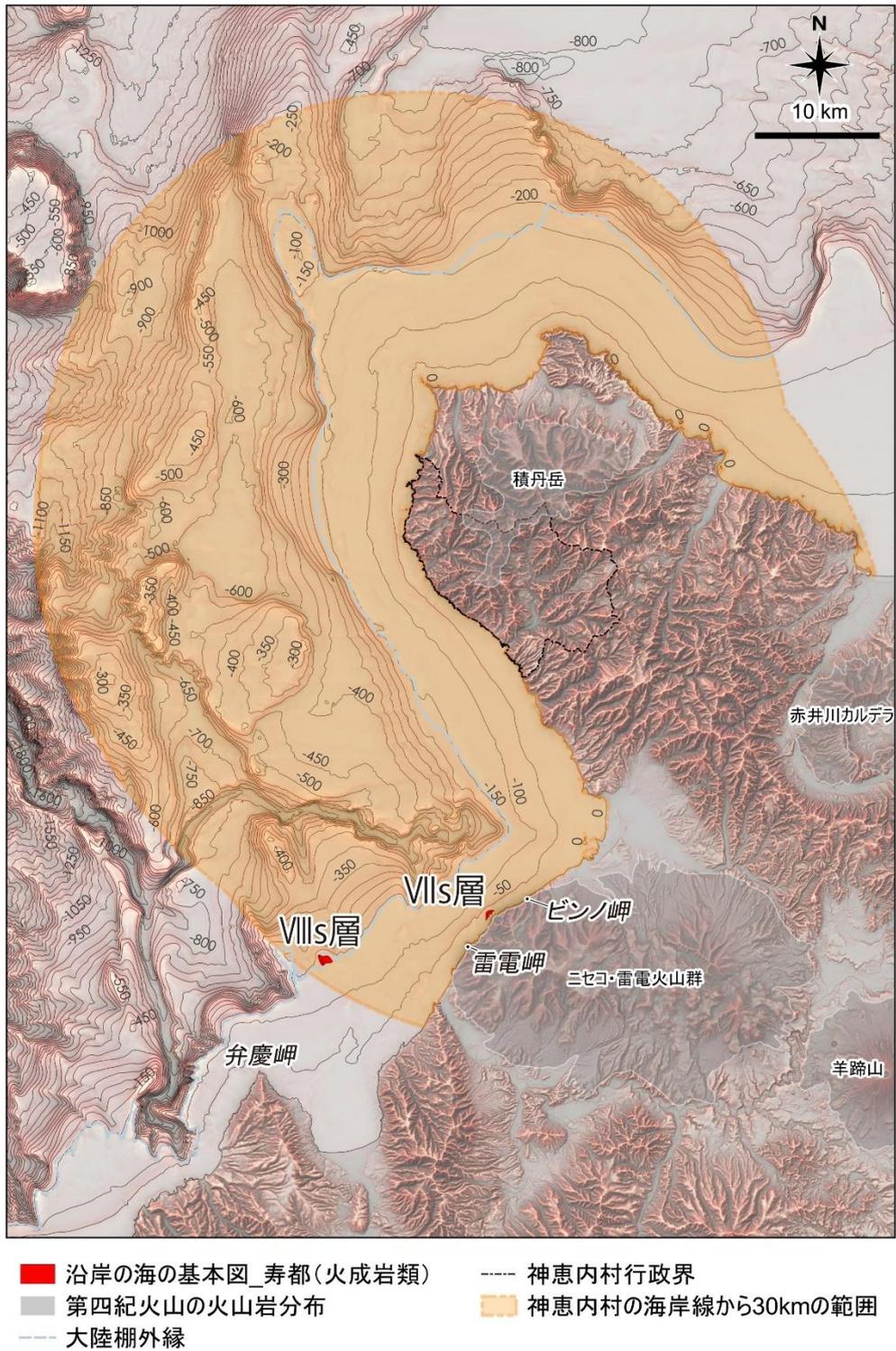


図 4.2-12 沿岸の海の基本図による海域の火成岩類の分布

海上保安庁水路部（1995）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図）」（国土地理院）および「アジア航測：赤色立体地図（陸域は国土地理院数値標高データ，海域は日本水路協会発行 M7000 シリーズ（（一財）日本水路協会承認 第 2021006 号）を使用）」を使用。海域の等深線図は日本水路協会発行「海底地形デジタルデータ（M7009 北海道西部）（（一財）日本水路協会承認第 2021006 号）」を用いて作成（等深線の間隔は 50 m）。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

ビンノ岬と雷電岬の中間地点の沿岸部で認められるVIIs層は、「音響的不透過層で、起伏に富む上面で強い反射を示す」とされ、「更新統*の火山岩」に対比されているが、その明確な根拠はない。また、年代測定データは示されておらず、ほかの文献においても見当たらない。

弁慶岬から北東へ10km沖合の大陸棚外縁で認められるVIIIs層は、「音響的不透過層で、起伏に富む上面で強い反射を示す」とされ、「鮮新統*から中新統の火山岩に対比される」と記されている。さらに、VIIIs堆積時には、「渡島半島周辺の大部分が海面下であったと考えられ、水中の火山活動によりVIIIs層を形成」したと記されているものの、その明確な根拠はない。また、年代測定データは示されておらず、ほかの文献においても見当たらない。

以上のことから、VIIs層およびVIIIs層とともに、最新活動年代を評価できる年代測定データが得られていないことと、文献に示された層序についてその明確な根拠が確認できないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

また、「積丹半島付近海底地質図」（岡村・佐藤，2023）では、「火山岩類はVm層、Vp層に区分した」と記載されており、これに加えて「内部構造が不明瞭な音響基盤」とされるBs層も火山岩の可能性のある地層・岩体として区分されている（図4.2-13）。文献調査対象地区の海岸線から30km以内に分布するこれらの地層・岩体は、5カ所で確認できる（図4.2-14）。

	堆積岩	火山岩
第四紀	Q	Vp
後期鮮新世	P2	
前期鮮新世	P1	
中新世	M	Vm
～中新世	Bs	Bs

図 4.2-13 積丹半島付近海底地質図による層序（沿岸海域の火成岩類）

岡村・佐藤（2023）より一部抜粋し、デジタイジングを行った。太文字は図4.2-14に示す火成岩類に相当する。

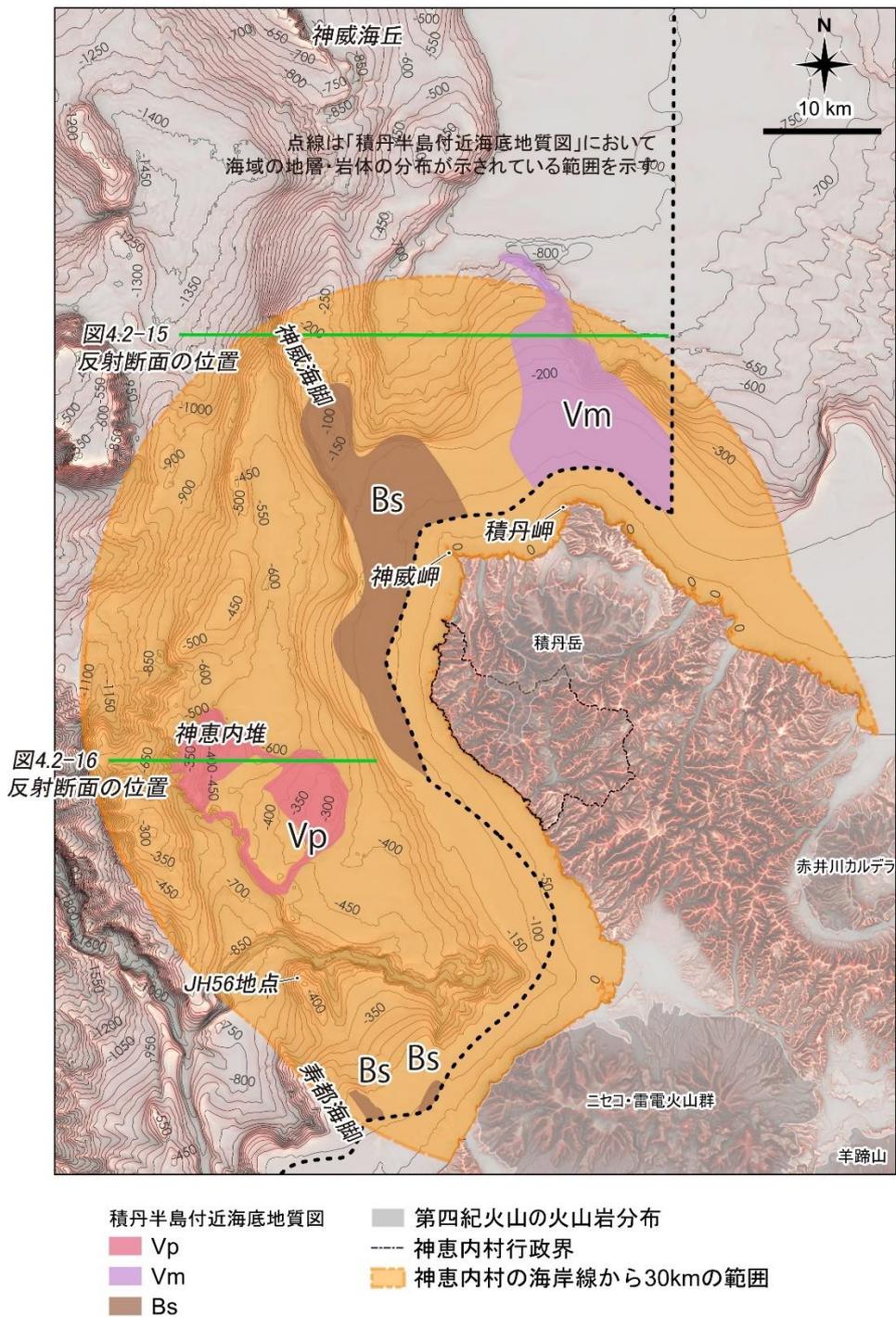


図 4.2-14 積丹半島付近海底地質図による海域の火成岩類の分布

岡村・佐藤（2023）に基づき作成。基図として「アジア航測：赤色立体地図（陸域は国土地理院数値標高データ，海域は日本水路協会発行 M7000 シリーズ（（一財）日本水路協会承認 第 2021006 号）を使用）」を使用。海域の等深線図は日本水路協会発行「海底地形デジタルデータ（M7009 北海道西部）（（一財）日本水路協会承認第 2021006 号）」を用いて作成（等深線の間隔は 50 m）。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。図中の記号（地層・岩体名など）については以下を参照。

「積丹半島付近海底地質図」（岡村・佐藤，2003）より，Bs：音響基盤—火成岩類，堆積岩類，Vm：Vm 層—安山岩，玄武岩，Vp：Vp 層—安山岩，玄武岩

Bs 層は内部構造が不明瞭な音響基盤とされており、「内部反射が不明瞭でマウンド状の形態を確認できない場合は年代不詳の音響基盤とした」と記載がある。地質図の凡例では「火成岩類、堆積岩類」とされているが、この他の情報がなく、そのいずれであるかを判断することはできない。神威岬北西沖の海脚を形成する基盤は、「積丹半島の西方沖大陸棚まで連続し、積丹半島に分布する火山岩類に対比できると推定されるが、年代を特定することが出来ないため、年代不詳基盤岩とした」との記載がある。また、寿都海脚付近で、上述した海上保安庁水路部（1995）に示されるVIIIs 層と分布域が一部、重なる箇所が確認できる。VIIIs 層（海上保安庁水路部，1995）は「鮮新統*から中新統の火山岩に対比される」と記されており、第四紀に活動した可能性を否定できない。ただし、年代測定データはいずれの領域においても取得されておらず、Bs 層の明確な形成時期を明らかにすることはできない。

以上のことから、Bs 層は火山岩類であるかも定かではなく、年代測定データも得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

積丹岬沖に分布する Vm 層は、「積丹岬から北北西へ約 25 km 張り出す火山」を構成し、「この火山の年代は不明であるが、その伸長方向の北西延長上に位置する神威海丘（8.11 Ma）と形状がよく似ていることから、後期中新世の火山であると推定した」と説明されている。反射断面から、P2 層および Q 層に覆われている様子が確認できるが（図 4.2-15）、P2 層および Q 層の堆積時期は第四紀の可能性を含み、Vm 層の形成時期についても確実に第四紀より古いと判断することはできない。また、年代測定データは得られていないため、明確な活動年代を明らかにすることはできない。

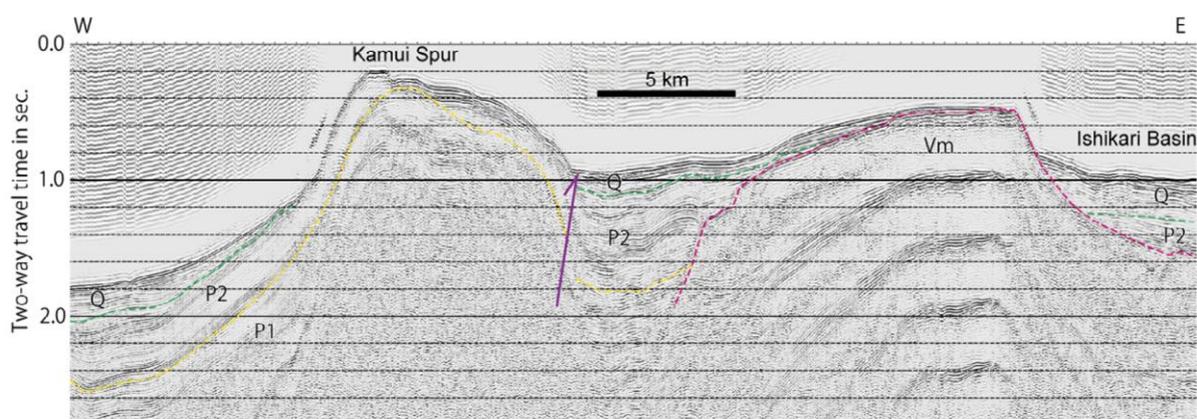


図 4.2-15 神威海脚から積丹半島北方沖を横断する反射断面（岡村・佐藤，2023）

以上のことから、Vm 層の形成時期は著者により後期中新世との見解が示されているが、当該 Vm 層で測定された年代測定データは得られておらず、層位学的観点からは、第四紀の可能性も含むと考えることができる。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえないものの、その可能性を完全に否定することはできない。

神恵内堆周辺に分布する Vp 層は、「水深 300 m の直径 10 km 程度の西に傾動した浸食平坦面を持つ火山」を構成しており（図 4.2-16）、「火山の南側ではこの火山構成層（Vp 層）と P1 層とが漸移的な関係に見えること」と、P1 層が分布する JH56 地点（図 4.2-14）において「安山岩角礫を含む火山碎屑岩が得られ、その中の安山岩は 4.14 Ma の年代を示す」ことから、「前期鮮新世の火山と推

定される」との記載がある。

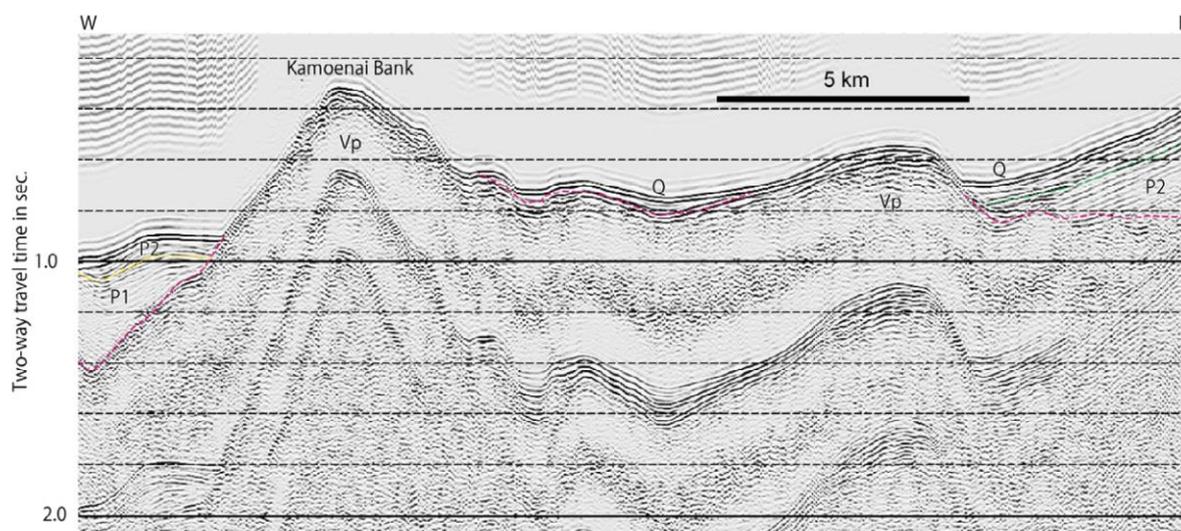


図 4.2-16 神恵内堆とその東側に広がる火山体を横断する反射断面（岡村・佐藤，2023）

また、P1層は寿都海脚まで連続する背斜構造を構成していることから、「(寿都海脚も) 同じ年代の火山性の堆積物からなる可能性が考えられる」とも記載している。ただし、これらの見解はあくまで推定であり、現段階でこれらの火山活動の明確な時期と範囲を明らかにすることはできない。

なお、北海道電力（2015，2016）は、岡村・佐藤（2023）が示すVp層の分布域を先古第三紀～古第三紀の地層に区分しており、年代観について異なる見解を示している。

以上のことから、Vp層の形成時期は著者により前期鮮新世との見解が示されているが、当該Vp層で測定された年代測定データは得られていない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない一方で、その可能性を完全に否定することもできない。

4.2.3 貫入岩・岩脈

本項では、文献調査対象地区の行政区界からおおむね15 km以内に分布が及ぶ貫入岩、岩脈、岩床、フィーダー岩脈の分布を整理する。5万分の1地質図幅（斎藤ほか，1952；根本ほか，1955；山岸・石井，1979；山岸，1980）や積丹地域地質図（通商産業省資源エネルギー庁，1985）、ニセコ地域地熱地質編図（新エネルギー総合開発機構，1987）に基づいて分布と層序を整理し、さらに、個別文献（菊池・渡辺，1954；山岸・積丹団研グループ，1979；Yamagishi, 1981；北海道電力，2016）から貫入岩、岩脈、脈岩に関する情報を抽出し、年代測定値を確認することなどにより、(1) 第四紀の貫入岩・岩脈、(2) 貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈、(3) 第四紀より前の活動であることが明らかな貫入岩・岩脈に整理した。なお、文献において、第三紀より前に区分されている基盤岩類等については、第四紀の活動でないことが明らかであると判断し、検討対象に含めなかった。

(1) 第四紀の貫入岩・岩脈

文献調査対象地区およびその周辺地域において、積丹地域地質図(通商産業省資源エネルギー庁，

1985)に基づき貫入岩・岩脈の分布を整理した結果、第四紀の活動に伴うものである可能性が高い、貫入岩・岩脈が1岩体認められた(図 4.2-17)。図 4.2-17 に示す文献調査対象地区内の、「珊内川中流」に分布する石英安山岩 (Da) の岩脈であり、古平累層上部に貫入するとされ、角閃石石英安山岩から 2.9 ± 0.6 Ma の全岩 FT 年代¹² が示されている。

以上のことから、「珊内川中流に分布する岩脈」は、誤差を考慮すると最新活動年代が第四紀の活動の可能性が否定できない年代測定値が得られていることから、第四紀における火山活動の履歴が存在する可能性が高いといえる。



■ 1

図 4.2-17 積丹地域地質図による第四紀の貫入岩・岩脈の分布および年代測定値
通商産業省資源エネルギー庁(1985)に基づき作成。基図として「地理院タイル(陰影起伏図および傾斜量図)」
(国土地理院)を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報(行政区域データ)」(国土交通省)に基づく。図中
の記号(地層・岩体名など)については以下を参照。

1:「積丹地域地質図 1/50,000」(通商産業省資源エネルギー庁, 1985)より, Da: 貫入岩類-石英安山岩

なお、5万分の1地質図幅およびニセコ地域地熱地質編図、個別文献の情報に基づいて同じ検討を行ったが、第四紀の火成活動に伴う貫入岩・岩脈は認められなかった。

¹² 原典では、「全岩 FT 年代」と記載されているが、ジルコン FT 年代、もしくは、全岩 K-Ar 年代の誤記の可能性がある。

(2) 貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈

ここでは、5万分の1地質図幅に基づき、文献調査対象地区およびその周辺地域における貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈の分布を整理した。その結果を図4.2-18に示す。

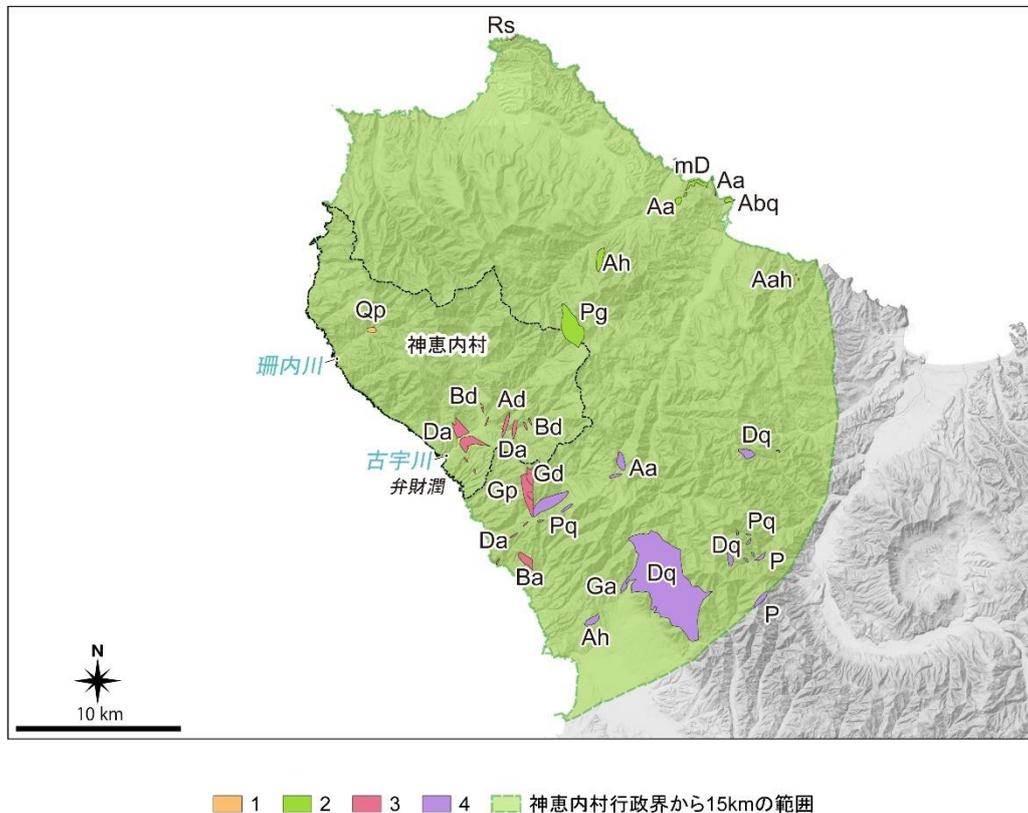


図 4.2-18 貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈の分布 (5万分の1地質図幅)

1: 山岸・石井 (1979), 2: 根本ほか (1955), 3: 山岸 (1980), 4: 斎藤ほか (1952) に基づき作成。基図として「地理院タイル (陰影起伏図および傾斜量図)」(国土地理院) を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報 (行政区域データ)」(国土交通省) に基づく。図中の記号 (地層・岩体名など) については以下を参照。

1: 5万分の1地質図幅「余別および積丹岬」(山岸・石井, 1979) より, Qp: 石英斑岩, Rs: 流紋岩岩床, Bd: 玄武岩岩脈

2: 5万分の1地質図幅「古平および幌武意」(根本ほか, 1955) より, mD: 岩脈 - 微閃緑岩, Aah: 岩脈 - 両輝石安山岩, Aa: 岩脈 - 普通輝石安山岩, Ah: 岩脈 - 石英含有角閃石安山岩, Abq: 岩脈 - 黒雲母・角閃石石英安山岩, Pg: 岩脈 - 石英斑岩

3: 5万分の1地質図幅「神恵内」(山岸, 1980) より, Bd: 玄武岩岩脈, Ad: 変質安山岩岩脈, Gd: 花崗閃緑岩, Gp: 花崗閃緑斑岩, Da: 角閃石石英安山岩岩脈, Ba: 玄武岩質安山岩岩脈

4: 5万分の1地質図幅「茅沼」(斎藤ほか, 1952) より, Ga: 酸性貫入岩類 - 斑岩, 角閃岩, Dq: 酸性貫入岩類 - 石英閃緑岩, P: 酸性貫入岩類 - 石英閃緑玢岩, Pq: 酸性貫入岩類 - 石英斑岩, Ah: 安山岩質岩脈 - 角閃石安山岩, Aa: 安山岩質岩脈 - 普通輝石安山岩

このうち、文献調査対象地区内に分布する貫入岩・岩脈の貫入時期については、以下の記載がある。

- ・ 石英斑岩 (Qp) (山岸・石井, 1979) は、「珊瑚内川中流域に小規模な岩体として産し」、「花崗岩類 (補記: 先第三紀) や変質安山岩 (補記: 中新世尾根内層) とはNW 方向の断層で接する」とされているが、このほかの情報がなく、貫入時期を明らかにできない。
- ・ 同じく山岸・石井 (1979) に示される玄武岩岩脈 (Bd) は、「古宇川下流部の左岸にみられるもので、古宇川層 (補記: 中新世) の緑色凝灰岩を貫ぬく岩床である」とされているが、このほかの情報がなく、貫入時期を明らかにできない。
- ・ 根本ほか (1955) に示される石英斑岩 (Pg) は、「本岩の貫入時期は下部集塊岩層を貫いていることから、黒松内期初期と考えられる」との記載がある。根本ほか (1955) では黒松内期を鮮新世*相当としているが、国際地質科学連合 (IUGS) による地質年代の再定義を考慮すると、貫入時期は明らかでない。
- ・ 山岸 (1980) の変質安山岩岩脈 (Ad) は、図幅から古宇川層 (中新世) を貫いていることが読み取れるが、このほかの情報がなく、貫入時期を明らかにできない。
- ・ 玄武岩岩脈 (Bd) (山岸, 1980) は、山岸・石井 (1979) で示されるものと分布が連続するものもあり、同様に「古宇川層 (補記: 中新世) を貫く」と説明されているが、このほかの情報がなく、貫入時期を明らかにできない。
- ・ 角閃石石英安山岩岩脈 (Da) (山岸, 1980) については、古宇川下流に「幅 1 km, 延長 2 km 以上の大岩体」が分布し、「その岩体はNW 方向で、北東側の古宇川層 (補記: 中新世) と南西側のカブト火砕岩層 (補記: 中新世) との境界付近に貫入している」と説明されている。なお、弁財潤北方にも幅数 m のものが分布し、「カブト火砕岩層 (補記: 中新世) を貫いている」とのことだが、いずれも貫入時期は明らかにできない。

このほか、文献調査対象地区の外に分布する貫入岩・岩脈の貫入時期については、以下の記載がある。

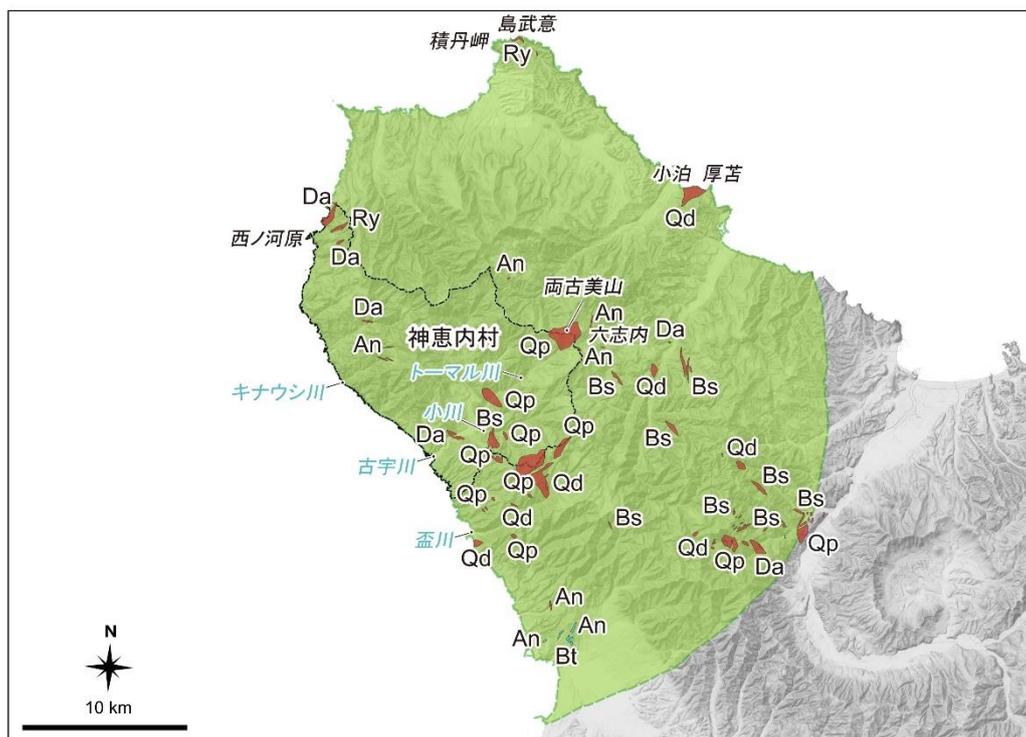
- ・ 山岸・石井 (1979) に示される流紋岩岩床 (Rs) は、「尾根内層 (補記: 中新世) の角閃石石英安山岩を岩床状に貫ぬいている」とされているが、通商産業省資源エネルギー庁 (1985) が同様の位置に分布する流紋岩で行った年代測定データによると、 31.6 ± 1.5 Ma のジルコン FT 年代が報告されており、貫入時期の解釈に矛盾が生じている。よって、貫入時期は明らかでない。
- ・ 根本ほか (1955) に示される微閃緑岩 (mD) は、「その貫入時期は中部集塊岩層 (新第三紀*) 堆積後と推定される」と示されているが、このほかの情報がなく、貫入時期は明らかでない。
- ・ 両輝石安山岩 (Aah)・岩脈 - 普通輝石安山岩 (Aa)・岩脈 - 石英含有角閃石安山岩 (Ah)・岩脈 - 黒雲母・角閃石石英安山岩 (Abg) (根本ほか, 1955) は、「安山岩質岩脈の貫入時期は黒松内期 (鮮新世*) と考えられる」とされている。このほかの情報はなく、国際地質科学連合 (IUGS) による地質年代の再定義を考慮すると貫入時期は明らかでない。
- ・ 山岸 (1980) に示される花崗閃緑岩 (Gd)・花崗閃緑斑岩 (Gp) は、「前ノ小川泥岩凝灰岩層およびカブト火砕岩層の下部層 (補記: いずれも中新世) を貫き、トーマル川層におおわれる」とされている。図幅からは、トーマル川層上部の角閃石石英安山岩質火山角礫岩に覆われているものと読み取れる。トーマル川層上部の角閃石石英安山岩質火山角礫岩の形成時期は、4.2.2 (2) ⑨に示したように鮮新世～更新世であると考えられ、これに覆われる花崗閃緑

岩 (Gd)・花崗閃緑斑岩 (Gp) についても、層位学的には鮮新世以降の活動に及ぶ可能性を否定できない。

- ・ 玄武岩質安山岩岩脈 (Ba) (山岸, 1980) は、「カブト火砕岩層の上部層を貫いている」と示されているが、このほかの情報がなく、貫入時期は明らかでない。
- ・ 斎藤ほか (1952) に示される石英斑岩 (Pq)・石英閃緑玢岩 (P)・石英閃緑岩 (Dq)・斑岩、角閃岩 (Ga) といった酸性貫入岩類の貫入時期については、「貫入時期は、図幅内で観られる限りでは、各岩種とも古平川累層の変朽安山岩以後 (中略) 新第三紀*火山噴出が大方終了した後の貫入物と推定される」と説明がある。ただし、このほかの情報がなく、明確な貫入時期は明らかでない。
- ・ 安山岩質岩脈一角閃石安山岩 (Ah) (斎藤ほか, 1952) は、「安山岩質岩脈には、貫入時期が新第三紀*か、第四紀*か必ずしも明らかでないものがあり」、「茅沼累層及び泊累層を貫く 1 岩頭がある」と記載がある。このほかの情報はなく、貫入時期を明らかにできない。
- ・ 安山岩質岩脈一普通輝石安山岩 (Aa) (斎藤ほか, 1952) についても、「熊追山北方の通称大滝附近には、古平川累層の集塊岩層の上部を貫く岩脈がある」と記載があるが、このほかの情報はなく、貫入時期は明らかでない。

以上のことから、5 万分の 1 地質図幅 (斎藤ほか, 1952 ; 根本ほか, 1955 ; 山岸・石井, 1979 ; 山岸, 1980) から抽出された岩脈については、貫入時期を特定できる年代測定データや層序の情報が得られていないことから、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らかまたは可能性が高いとはいえない。

また、積丹地域地質図 (通商産業省資源エネルギー庁, 1985) およびニセコ地域地熱地質編図 (新エネルギー総合開発機構, 1987) に基づき、文献調査対象地区およびその周辺地域における貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈の分布を整理した。その結果を図 4.2-19 に示す。



■ 1 ■ 2 ■ 神恵内村行政界から15kmの範囲

図 4.2-19 貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈の分布（積丹地域地質図およびニセコ地域地熱地質編図）

1：通商産業省資源エネルギー庁（1985），2：新エネルギー総合開発機構（1987）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。図中の記号（地層・岩体名など）については以下を参照。

1：「積丹地域地質図 1/50,000」（通商産業省資源エネルギー庁，1985）より，Qp：貫入岩類 - 石英斑岩，Qd：貫入岩類 - 石英閃緑岩，Bs：貫入岩類 - 玄武岩，An：貫入岩類 - 安山岩，Da：貫入岩類 - 石英安山岩，Ry：貫入岩類 - 流紋岩

2：「ニセコ地域地熱地質編図 1/100,000」（新エネルギー総合開発機構，1987）より，Bt：貫入岩類 - 玄武岩，粗粒玄武岩，An：両輝石安山岩

このうち，文献調査対象地区内に分布する貫入岩・岩脈の貫入時期については，以下の記載がある。

- 石英斑岩（Qp）は複数の地域に貫入しており，通商産業省資源エネルギー庁（1985）によれば，トーマル川中流域の貫入岩は「変質鉱物として緑泥石，緑簾石が見られ，古平累層上部（補記：前期中新世）を貫いている」と記され，両古美山の貫入岩は「古宇川累層（補記：中期中新世）を貫き，黄鉄鉱染を伴う粘土化変質を受けている」と記されている。地質図からは，文献調査対象地区南東部の古宇川左岸側の山地で，豊浜累層に覆われる様子が読み取れる。ただし，年代測定データなどの情報はなく，貫入時期は明らかでない。
- 石英安山岩（Da）は古宇川下流や西ノ河原に分布し，古宇川下流のものは「灰色を呈する小

岩脈で、豊浜累層上部（補記：後期中新世）の石英安山岩と岩相が似ている」とされている。西ノ河原に分布するものは、「古宇川累層（補記：中期中新世）と豊浜累層（補記：後期中新世）を貫く北東－南西方向の岩脈」とされているが、詳細な活動時期に関する情報はなく、貫入時期は明らかでない。

- ・ 流紋岩 (Ry) については、西ノ河原付近に分布し、「古宇川累層（補記：中期中新世）を貫く北東－南西方向の黒雲母流紋岩岩脈で、変質は受けていない」とされているが、そのほかの情報はなく、貫入時期は明らかでない。
- ・ 玄武岩 (Bs) は、小川中流に分布しており、通商産業省資源エネルギー庁 (1985) によれば、「古平累層上部（補記：前期中新世）を貫く小岩脈で変質は弱い」との説明がある。
- ・ 安山岩 (An) はキナウシ川流域に分布し、通商産業省資源エネルギー庁 (1985) では、「古平累層（補記：前期中新世）、古宇川累層（補記：中期中新世）を貫く東西方向の岩脈で、変質鉱物として緑泥石、絹雲母、方解石が見られる」と説明されている。また、一部の岩脈は、豊浜累層を貫くものと地質図からは読み取れるが、いずれも年代測定データなどの情報がなく、貫入時期は明らかでない。

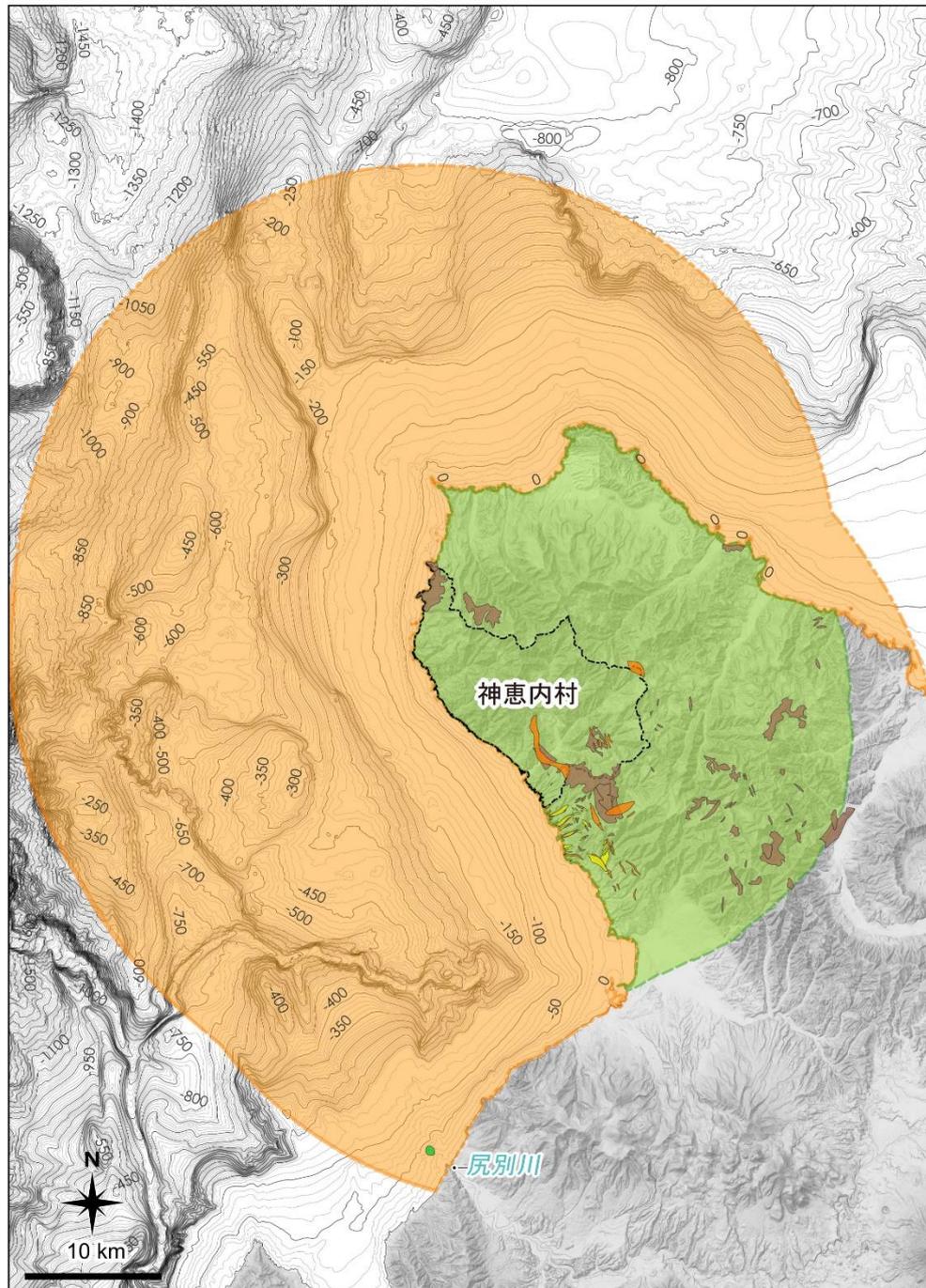
このほか、文献調査対象地区の外に分布する貫入岩・岩脈の貫入時期については、以下の記載がある。

- ・ 通商産業省資源エネルギー庁 (1985) に示される石英閃緑岩 (Qd) は、一部の岩体でジルコン FT 年代 $14.2 \pm 0.8 \text{ Ma}$ (盃川中流) が得られており、第四紀以前の活動に伴う貫入岩であることが明らかであると認められるものもある (4.2.3 (3) 参照)。ただし、それ以外の岩体については、貫入時期を明らかにできる情報がない。なお、小泊～厚苫の岩体から全岩 K-Ar 年代 $22.2 \pm 1.1 \text{ Ma}$ が得られているが、当該年代測定値については「地質調査と逆の結果が得られ、原因不詳」とされており、「年代の信頼性の吟味については今後の検討が必要であろう」とも記されている。よって、小泊～厚苫の岩体は中新世の年代測定値が得られているものの、年代測定値と層序の情報が矛盾していることから貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈に含めることとした。
- ・ 石英斑岩 (Qp) (通商産業省資源エネルギー庁, 1985) は、盃川中流に分布する石英斑岩において「K-Ar 法による年代測定では、 $7.9 \pm 1.0 \text{ Ma}$ が得られたが変質の影響で若く測定されているものと考えられる」と記載があり、第四紀以前の活動に伴う貫入岩であることが明らかであると認められるものもあるが (4.2.3 (3) 参照)、このほかの分布域においては年代測定データがなく、貫入時期は明らかでない。
- ・ 流紋岩 (Ry) (通商産業省資源エネルギー庁, 1985) は、積丹岬東方島武意の岩床において、 $31.6 \pm 1.5 \text{ Ma}$ のジルコン FT 年代測定値が得られているものの、測定したジルコンの粒子年代は $43 \sim 17 \text{ Ma}$ の間で均等にばらつき、ジルコン結晶がエッセンシャルなものでない旨の記載もある。さらに本岩床は、山岸・石井 (1979) の流紋岩岩床に相当するものと考えられ、山岸・石井 (1979) では「尾根内層（補記：中新世）の角閃石石英安山岩を岩床状に貫ぬいている」との記載があり、貫入時期の解釈に矛盾が生じる。よって、貫入時期は明らかでない。
- ・ 石英安山岩 (Da) および玄武岩 (Bs) (通商産業省資源エネルギー庁, 1985) は、貫入した地層との関係等について説明があるものの、その時期を特定できる情報はない。

- ・ 安山岩 (An) (通商産業省資源エネルギー庁, 1985) は、六志内に点在する岩脈については、「新期溶岩類と同時期のものと思われ、岩質も酷似し、緑色化変質を受けていない」と、第四紀の活動を示唆する情報があるものの、貫入時期を明確に特定できる情報はない。また、このほかの地域に分布する安山岩 (An) についても、貫入した地層との関係等について説明があるものの、その時期を特定できる情報はない。
- ・ 新エネルギー総合開発機構 (1987) に示される玄武岩、粗粒玄武岩 (Bt)・両輝石安山岩 (An) は、貫入時期を特定できる情報が記されていない。

以上のことから、積丹地域地質図 (通商産業省資源エネルギー庁, 1985) およびニセコ地域地熱地質編図 (新エネルギー総合開発機構, 1987) から抽出された岩脈については、貫入時期を特定できる年代測定データや層序の情報が得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らかまたは可能性が高いとはいえない。

さらに、個別文献を調査した結果、菊池・渡辺 (1954)、山岸・積丹団研グループ (1979)、Yamagishi (1981)、北海道電力 (2016) において、文献調査対象地区およびその周辺地域の貫入岩・岩脈に関する記載が認められた (図 4.2-20)。



- | | |
|---|---|
| 菊池・渡辺 (1954) | 北海道電力 (2016) |
| 山岸・積丹団研グループ (1979) | 神恵内村行政界から15kmの範囲 |
| Yamagishi (1981) | 神恵内村の海岸線から30kmの範囲 |

図 4.2-20 その他の文献に示される貫入岩・岩脈の分布

菊池・渡辺 (1954), 山岸・積丹団研グループ (1979) ©日本地質学会, Yamagishi (1981), 北海道電力 (2016) に基づき作成。基図として「地理院タイル (陰影起伏図および傾斜量図)」(国土地理院)を使用。海域の等深線図は日本水路協会発行「海底地形デジタルデータ (M7009 北海道西部) ((一財) 日本水路協会承認第 2021006 号)」を用いて作成 (等深線の主曲線の間隔は 10 m, 計曲線の間隔は 50 m)。神恵内村行政界は「国土数値情報 (行政区域データ)」(国土交通省)に基づく。

いずれも年代測定データの報告はない。以下に、各文献の記載内容の概要を示す。

- Yamagishi (1981)によると、文献調査対象地区の南部と北端部に Rhyolitic dyke (流紋岩岩脈), Dacitic dyke (石英安山岩岩脈), Basaltic dyke (玄武岩岩脈) の分布・概要が示されているが (図 4.2-21), 貫入時期を特定できる情報はない。

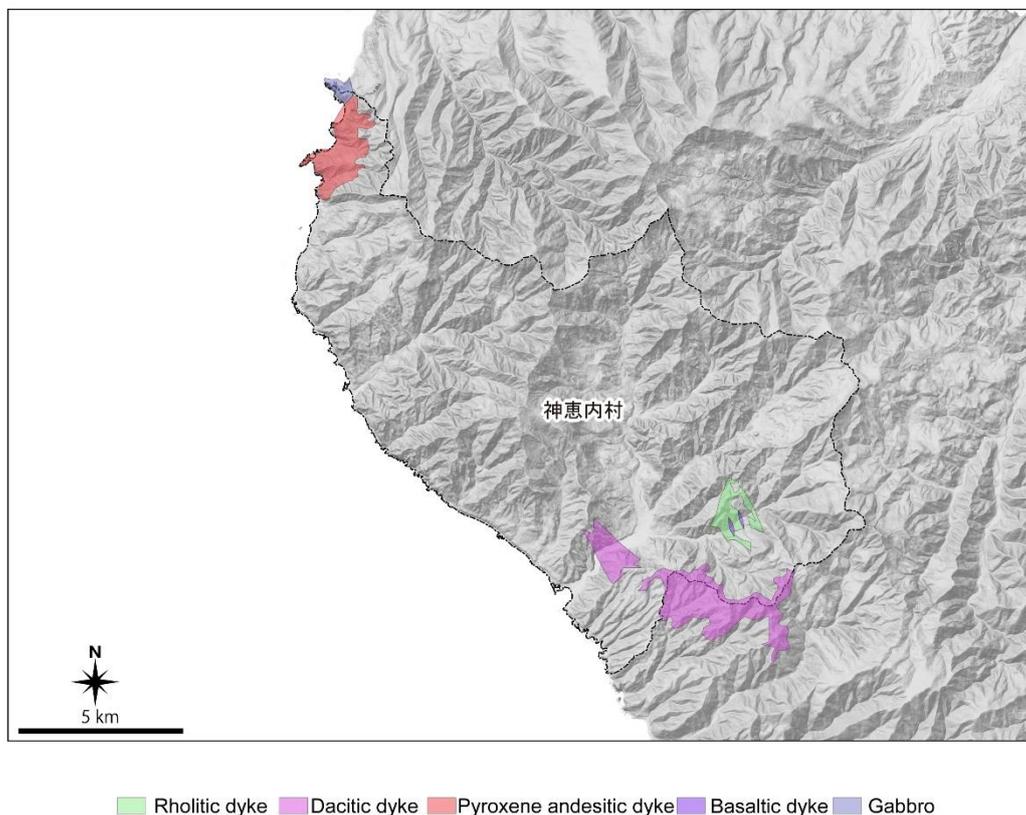
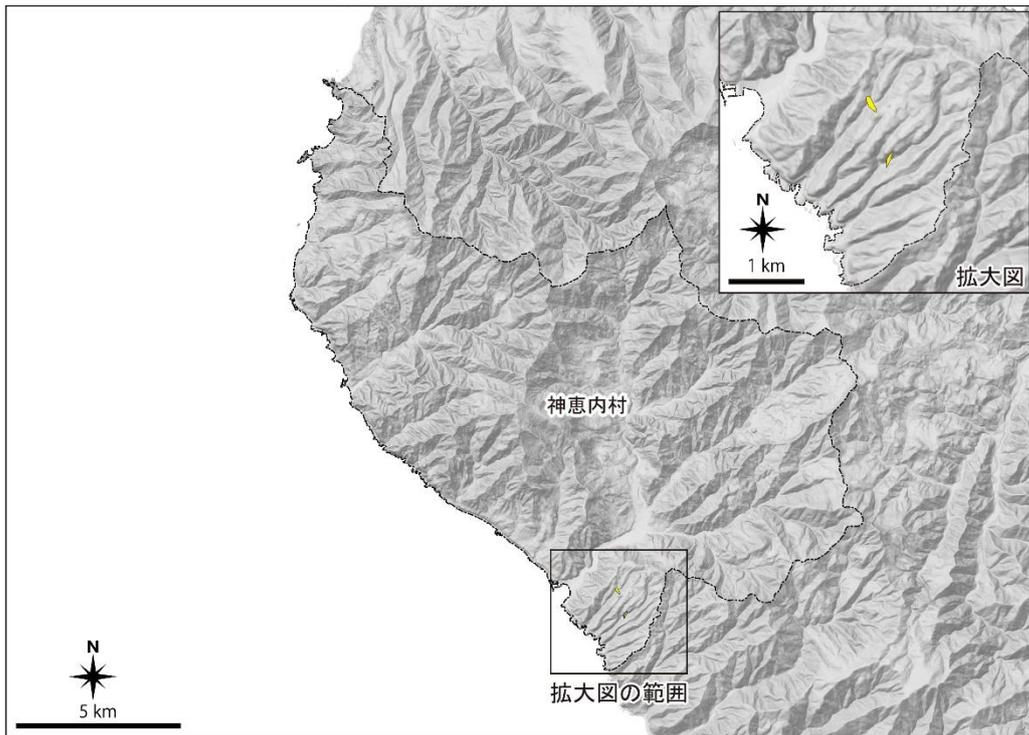


図 4.2-21 Yamagishi (1981)に示される岩脈

Yamagishi (1981)に基づき作成。基図として「地理院タイル (陰影起伏図および傾斜量図)」(国土地理院) を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報 (行政区域データ)」(国土交通省) に基づく。

- 山岸・積丹団研グループ (1979) により示される積丹半島西南部地域の地質図によると、文献調査対象地区の南端部に角閃石石英安山岩岩脈の分布が示されている (図 4.2-22)。「トーマル川層の角閃石石英安山岩質のハイアロクラスタイトと同岩質であり、ほぼ同時期のものと推定される」と説明されているが、トーマル川層の形成時期についても明らかではない。



■ 角閃石石英安山岩岩脈

図 4.2-22 山岸・積丹団研グループ (1979) に示される岩脈

山岸・積丹団研グループ (1979) ©日本地質学会 に基づき作成。基図として「地理院タイル (陰影起伏図および傾斜量図)」(国土地理院) を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報 (行政区域データ)」(国土交通省) に基づく。

- ・ 菊池・渡辺 (1954) により示される神恵内泊附近地質図によると、文献調査対象地区内の東部から南部にかけて、石英粗面岩、安山岩、粗粒玄武岩の脈岩が分布することが示されている (図 4.2-23)。「新第三系*中で最も新しい」とされ、これらの脈岩に関係するとされる鉱床の生成時期は鮮新世*中頃と見積もられている。本文献は 2009 年以前に刊行されたものであるため、これらの脈岩が第四紀に区分される可能性もあるが、詳細は明らかでない。

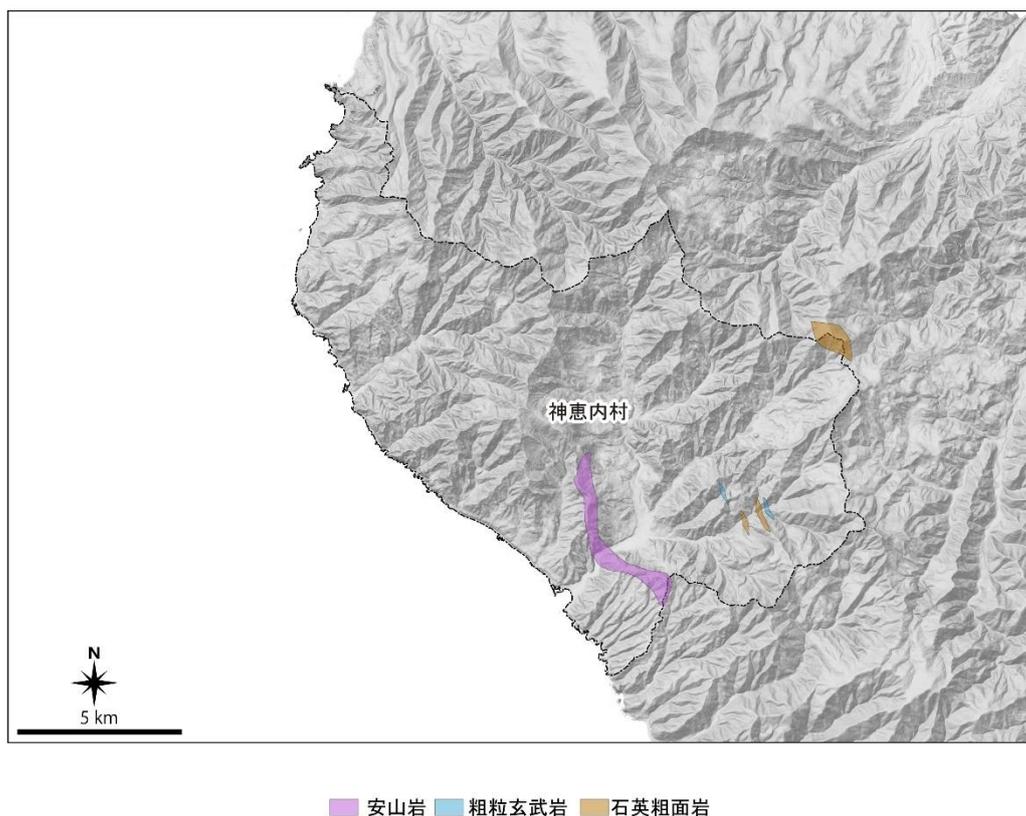


図 4.2-23 菊池・渡辺（1954）に示される脈岩

菊池・渡辺（1954）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

- ・ 北海道電力（2016）では、尻別川河口の西方沖に、新第三紀鮮新世に形成されたとする貫入岩Ⅷの分布が局所的に示されている。ただし、北海道電力（2015）の地層対比表では、第四紀中期更新世として示されており、異なる見解が示されている。本貫入岩は、鮮新世～前期更新世に堆積したとされるⅤ層に貫入しており、その活動時期は第四紀を含む可能性があるが、年代測定データに関する情報はない。これらの層序区分の根拠として北海道電力（2015）は、「海上音波探査で認められる反射面の連続性、下位層との不整合関係、堆積構造及び反射パターンの特徴」を挙げている。

以上のことから、個別文献から抽出された貫入岩・岩脈については、貫入時期を特定できる年代測定データや層序の情報が得られていないため、第四紀における火山活動の有無を判断できない。よって、第四紀における火山活動の履歴が存在することが明らか、または可能性が高いとはいえない。

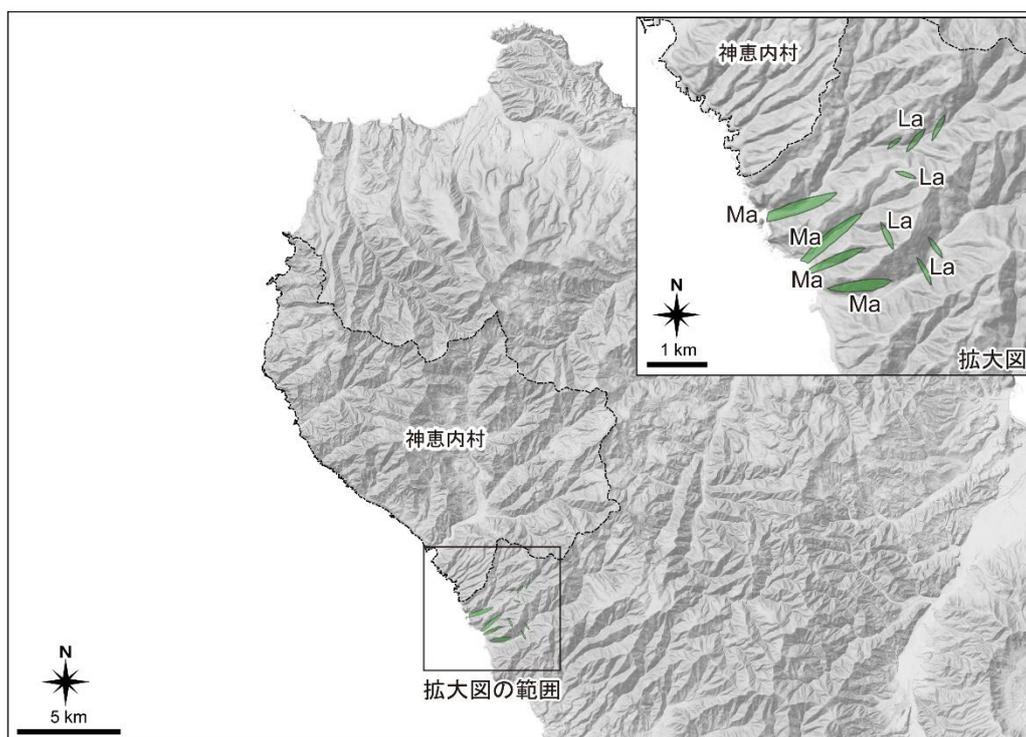
(3) 第四紀より前の活動であることが明らかな貫入岩・岩脈

5 万分の 1 地質図幅をもとに貫入岩・岩脈の分布を整理した結果、第四紀の活動でないことが明らかであるものとして、図 4.2-24 に示す貫入岩・岩脈が認められた。

山岸（1980）に示されるカプト火砕岩層は、本文献で中新世に区分されていることに加え、広瀬

ほか(2000)において、 10.00 ± 0.51 Ma、 9.77 ± 0.52 Ma、 6.98 ± 0.38 Ma の K-Ar 年代が得られていることから中新世の地層・岩体と判断できる。山岸・積丹団研グループ(1979)に基づけば、泊累層-カプト火砕岩層-下部層-同質貫入岩体(La) および泊累層-カプト火砕岩層-中部層-同質貫入岩体(Ma)(山岸, 1980)は、カプト火砕岩層の「フィーダーと考えられる同質貫入岩体」と記載があり、カプト火砕岩層と同時期の活動によるものと判断できる。

以上のことから、カプト火砕岩層の同質貫入岩体は、カプト火砕岩層との関係が明示されており、年代測定値が明確に中新世の年代を示すことから、第四紀より前の活動に伴う貫入岩であることが明らかであると認められる。



1

図 4.2-24 第四紀の活動でないことが明らかな貫入岩・岩脈の分布(5万分の1地質図幅)

1: 山岸(1980)に基づき作成。基図として「地理院タイル(陰影起伏図および傾斜量図)」(国土地理院)を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報(行政区域データ)」(国土交通省)に基づく。図中の記号(地層・岩体名など)については以下を参照。

1: 5万分の1地質図幅「神恵内」(山岸, 1980)より, La: 泊累層-カプト火砕岩層-下部層-同質貫入岩体, Ma: 泊累層-カプト火砕岩層-中部層-同質貫入岩体

また、積丹地域地質図(通商産業省資源エネルギー庁, 1985)およびニセコ地域地熱地質編図(新エネルギー総合開発機構, 1987)をもとに貫入岩・岩脈の分布を整理した結果、第四紀の活動でないことが明らかであるものとして、図 4.2-25 に示す貫入岩・岩脈が認められた。

貫入岩類-石英閃緑岩(Qd)は、盃川中流~茂岩川上流に分布する岩体からジルコン FT 年代 14.2 ± 0.8 Ma および角閃石 K-Ar 年代 11.1 ± 14.9 Ma が、小泊~厚苔の岩体から全岩 K-Ar 年代 $22.2 \pm$

1.1 Ma が得られている。しかし、全岩 K-Ar 年代 22.2 ± 1.1 Ma については「地質調査と逆の結果が得られ、原因不詳」とされており、「年代の信頼性の吟味については今後の検討が必要であろう」とも記されている。このように、年代測定値と層序の情報が矛盾していることから、当該年代測定値が確認された小泊～厚苫の岩体は、貫入時期が明らかでない貫入岩・岩脈 (4.2.3 (2) 参照) に含めることとした。また、角閃石 K-Ar 年代 11.1 ± 14.9 Ma については「Ar の含有比小さく誤差が大きい」とされており、当該年代測定値は考慮しないこととするが、盃川中流～茂岩上流に分布する岩体では別途、ジルコン FT 年代 14.2 ± 0.8 Ma が得られており、この岩体については第四紀の活動の可能性は低いと判断した。なお、このほかの年代測定データが得られていない岩体については貫入時期が明らかでないものとして整理している (4.2.3 (2) 参照)。

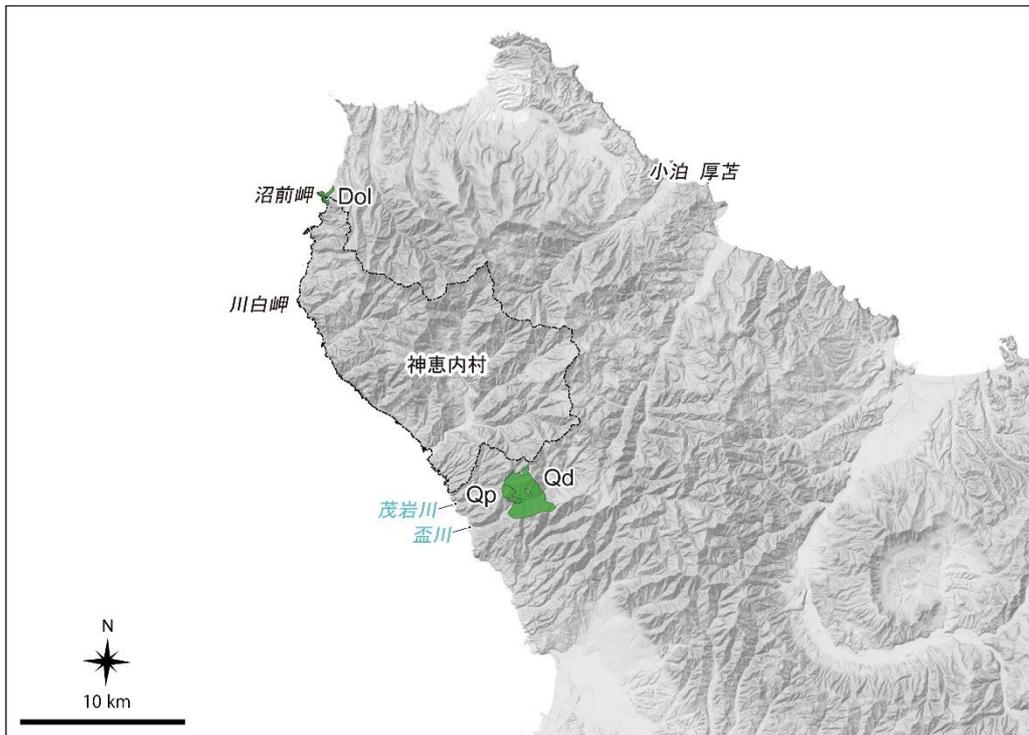
以上のことから、一部の石英閃緑岩では中新世の年代測定値が得られており、第四紀より前の活動に伴う貫入岩であることが明らかであると認められる。

貫入岩類—石英斑岩 (Qp) は、盃川中流に分布する石英斑岩について、「K-Ar 法による年代測定では、 7.9 ± 1.0 Ma が得られたが変質の影響で若く測定されているものと考えられる」(通商産業省資源エネルギー庁, 1985) との記載があり、この時代より貫入時期は古いと判断できる。

以上のことから、石英斑岩は年代測定値が明確に中新世の年代を示し、さらにそれよりも古い活動に伴うものであることが示唆されていることから、第四紀より前の活動に伴う貫入岩であることが明らかであると認められる。

貫入岩類—粗粒玄武岩 (Dol) は、沼前岬の粗粒玄武岩で全岩 K-Ar 年代 11.7 ± 1.3 Ma が得られており、中新世の活動によるものと判断できる。ただし、本貫入岩が貫く古宇川累層においてジルコン FT 年代 9.3 ± 0.6 Ma (川白岬) が得られており、年代測定値の新旧に矛盾が生じていることに留意は必要である。

以上のことから、粗粒玄武岩は年代測定値の新旧と貫入・被貫入関係に矛盾が生じているものの、いずれの年代測定値も中新世の年代を示すことから、第四紀より前の活動に伴う貫入岩であることが明らかであると認められる。



■ 1

図 4.2-25 第四紀の活動でないことが明らかな貫入岩・岩脈の分布（積丹地域地質図）

1：通商産業省資源エネルギー庁（1985）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

図中の記号（地層・岩体名など）については以下を参照。

1：「積丹地域地質図 1/50,000」（通商産業省資源エネルギー庁，1985）より，Qp：貫入岩類－石英斑岩，Qd：貫入岩類－石英閃緑岩，Dol：貫入岩類－粗粒玄武岩

4.3 新たな火山が生じる可能性

本節では、文献調査対象地区における新たな火山が生じる可能性について検討するため、関連する情報を整理する。具体的には、評価の考え方 (1.2 参照) に従って、火山の発生メカニズムの地域性を踏まえたマグマの発生条件の成立性について示したうえで (4.3.1)、現在の地殻およびマントル最上部におけるメルトの存在に関する知見を整理する (4.3.2)。さらに、より深部から地殻にメルトが貫入する可能性に関連する情報として、マントルウェッジにおけるメルトの生成と移動に関連する知見を整理する (4.3.3)。

4.3.1 火成活動のメカニズム

文献調査対象地区が位置する東北日本では、北米プレート (またはオホーツクプレート) の下に太平洋プレートが沈み込んでおり (以下、沈み込んだプレートを「スラブ」という。)、西南北海道以南の東北日本弧とそれ以北の千島弧から構成される。北海道では火山フロントが見られ、文献調査対象地区はその背弧域に位置している (3.1.1 参照)。

スラブの沈み込みに伴う火成活動のメカニズムは、以下のように考えられている (例えば、中島、2016)。

- ① スラブの沈み込みに伴う温度、圧力の上昇による含水鉱物の脱水分解と高温のマントルウェッジへの水の放出
- ② 加水に伴うカンラン岩の融点低下によるマントルウェッジ中心付近でのメルトの生成
- ③ マントル上昇流によるマントルウェッジ内でのメルトの移動とモホ面直下での蓄積
- ④ 地殻内へのメルトの貫入とマグマ溜りの形成
- ⑤ マグマ溜りから供給されたマグマの地表への到達による火山噴火

メルトは、①のスラブからの流体の供給と、②の含水カンラン岩が溶融する温度・圧力が達成される場所で生じることになる。中島 (2016) による既存文献のレビューによると、スラブ起源流体の付加によりカンラン岩の融点は約 1,000°C に低下すること、この融点は圧力 (深さ) にほとんど依存しないこと、背弧側のマントルウェッジでは広い範囲で 1,000°C 以上の温度を維持できることが指摘されている。

③のスラブから放出された流体や生成されたメルトの移動経路は、主に地震波不均質構造に基づいて議論されている (例えば、Nakajima et al., 2001 ; Kita et al., 2014)。東北地方や北海道のマントルウェッジでは、図 4.3-1 に示すように、背弧域の深部から火山フロント下のモホ面付近まで連続する顕著な地震波低速度域が、沈み込む太平洋プレートにほぼ平行に分布しており、この分布域がメルトの供給路であると考えられている (中島, 2017)。また、長谷川ほか (2004, 2012) によると、東北地方の背弧域ではメルトの一部が離脱し、直上に上昇するモデルが示されている。

以上のように東北日本では、背弧域のマントルウェッジで生成されたメルトが上昇し、地表から噴出することで、火山が形成されると考えられている。このように理解されている大局的なメカニズムから見れば、現在マグマの発生条件が背弧域で成立していることを単純に否定することは難しい。

①～④の過程で生じる現象については、様々な研究が行われている。①および②については、これに関与するマントルウェッジの温度構造等に関する数値シミュレーションに基づいて、メルトの生成場と火山の分布傾向との関連性について説明が試みられている (4.3.3 (1) 参照)。③について

も同様に、地震波不均質構造と火山の分布傾向との関連性について説明が試みられている(4.3.3(2)参照)。④については、地下の温度構造、物性値の分布、地下水等の化学特性に関する情報を用いて、地殻やマントル最上部にメルトが賦存する領域を推定した事例が報告されている(例えば、Umeda et al., 2007)。4.3.2 ではこれらの情報を整理する。

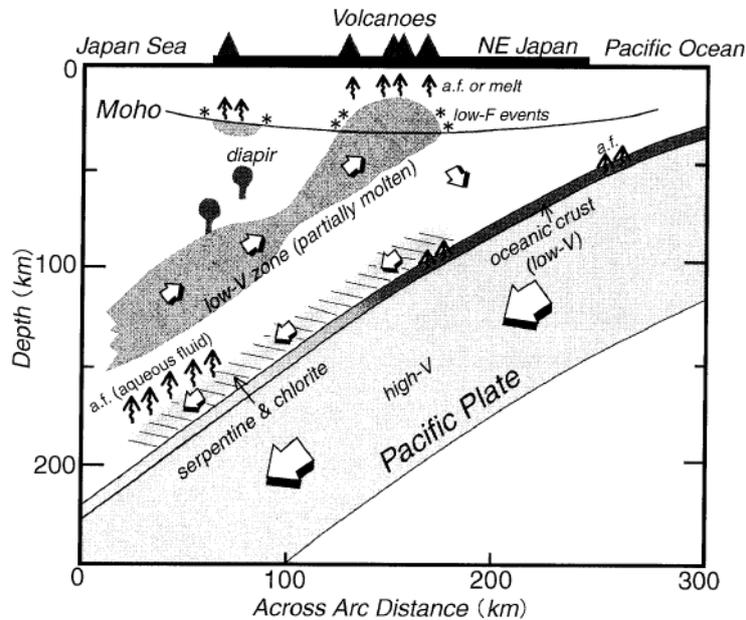


図 4.3-1 東北日本における流体の移動経路に関する概念図(長谷川ほか, 2004)

4.3.2 地殻～マントル最上部におけるメルトの存在

地殻～マントル最上部のメルト(本項では、マグマや部分熔融域を含むものとする)の存否や分布については、地下の熱源を示す温度構造に関する情報に加えて、流体の分布を示す地震波速度構造等の物理特性に関する情報、マントル起源物質の地表への供給を示す地下水・付随ガスのヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$)等の地球化学的情報を用いて推定された事例が報告されている(例えば、Umeda et al., 2007)。本項では1.2.5に示す評価の考え方に従い、4.3.2(1)に地下温度構造に関する情報(地殻熱流量、キュリー点深度、地震発生層の下面深度)、4.3.2(2)に地下水等の化学特性に関する情報(地下水・付随ガスのヘリウム同位体比、Li/Cl比)、4.3.2(3)に地下深部の物理特性に関する情報(地震波速度・減衰構造、比抵抗構造、低周波地震)を整理する。

(1) 地下温度構造に関する情報

(i) キュリー点深度

キュリー点深度は、岩石が磁性を失う温度に達する深度を指し(大久保, 1984)、地下の熱構造をとらえるために用いられている(例えば、田中ほか, 1997)。ただし、キュリー点深度に対応する温度は、約 450°C (Okubo et al., 1989)や 500°C 前後(大久保ほか, 1997)といったようにその見積りには幅がある。また、キュリー点深度は比較的広範囲の平均的な温度構造を反映すると考えられ、数十～数百 km 四方の平均的な深度となる。そのため火山の局所的な熱異常は無視されることが多いこと(田中ほか, 1997; 大久保ほか, 1998)に留意が必要である。

日本列島のキュリー点深度は、等深度線図として大久保(1984)およびOkubo et al.(1989)により

国内の地殻熱流量の分布は、田中ほか（2004）、Tanaka et al. (2004)などによって示されており、それらの測定データは田中ほか（2019）に取りまとめられている。図 4.3-3 に、田中ほか（2019）に基づく地殻熱流量の分布を示す。これによると、地殻熱流量の測定点は、主に積丹半島南部からニセコ・雷電火山群の周辺地域に分布し、その他の地域における測定データは僅かである。このうち最も高い地殻熱流量は、第四紀火山とされているニセコ・雷電火山群の東部で認められ、 275 mW/m^2 を示す。その北方ではこれに比べて低い値を示す。

文献調査対象地区では一カ所でのみ測定値が示されており、ニセコ・雷電火山群周辺に見られる地殻熱流量よりも低い 108 mW/m^2 を示す。ただし、測定点の分布に乏しいことから、文献調査対象地区における温度構造は明らかでない。

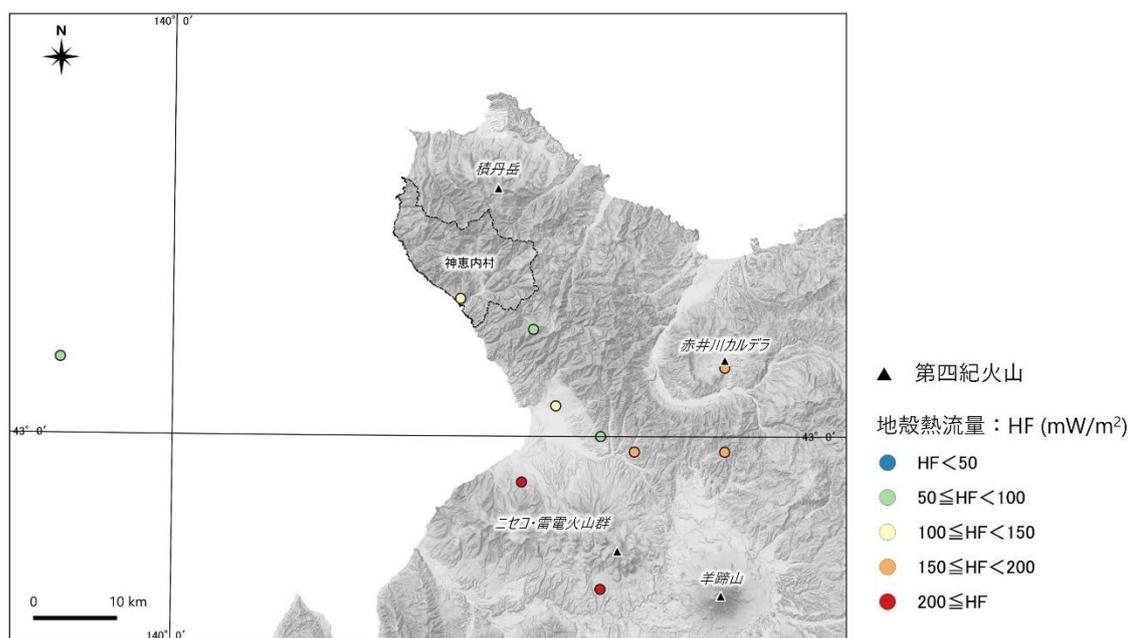


図 4.3-3 文献調査対象地区周辺の地殻熱流量分布

第四紀火山は中野ほか編（2013）、地殻熱流量は田中ほか（2019）に基づき作成。基図として「地理院タイル（陰影起伏図および傾斜量図）」（国土地理院）を使用。神恵内行政界は「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）に基づく。

(iii) 地震発生層の下限深度

鉛直方向における浅発地震（低周波地震を除く）の活動範囲を指す地震発生層の深さは、場所により異なることが知られており、地震発生層の深さの下限（以下、下限深度という。）と地殻深部の温度構造の関連性が指摘されている（例えば、田中，2009；Omuralieva et al., 2012）。例えば、東北地方の脊梁山地における事例によると、上部マントルからの高温物質の貫入により温度が局所的に高くなり、下限深度は局所的に浅くなる（長谷川ほか，2004）ことが指摘されている。

図 4.3-4 に、気象庁の「地震月報」（気象庁ホームページ b）に基づき、文献調査対象地区周辺の深さ 50 km 以浅で発生した地震の震源分布を示す。図に示す地震は、国内の地震検知能力が飛躍的に向上したとされる 1997 年 10 月（中村，2006）から 2022 年 3 月までの期間において深さ 50 km 以

浅で発生し、震源決定精度が良好と考えられる¹³ 通常地震および低周波地震である。このうち通常地震は、震源深さの誤差が 2 km よりも小さい震源データを震源決定精度が良好なデータとしてプロットした。低周波地震は発生の有無に着目するため (4.3.2 (3) (i) 参照)、震源深さの誤差による制限を設けずにプロットした。

これによると下限深度は、場所によって異なるものの深さ 10~15 km 程度であると見られる。また、赤井川カルデラの近傍では、深さ 10 km またはそれよりも浅く、その周辺では相対的に深い傾向が見られる。これに対して積丹岳の近傍では、赤井川カルデラに比べて深い傾向が見られ、下限深度は 15 km 程度であると見られる。

文献調査対象地区の陸域でも同様に、下限深度は 15 km 程度であると見られ、高温であることを明確に示す傾向は見られない。なお、Omuralieva et al. (2012)には国内の地震発生層下限深度分布が示されている。詳細な深さは異なるが、以上に示した下限深度のパターン・傾向と大きく矛盾しないと考えられる。

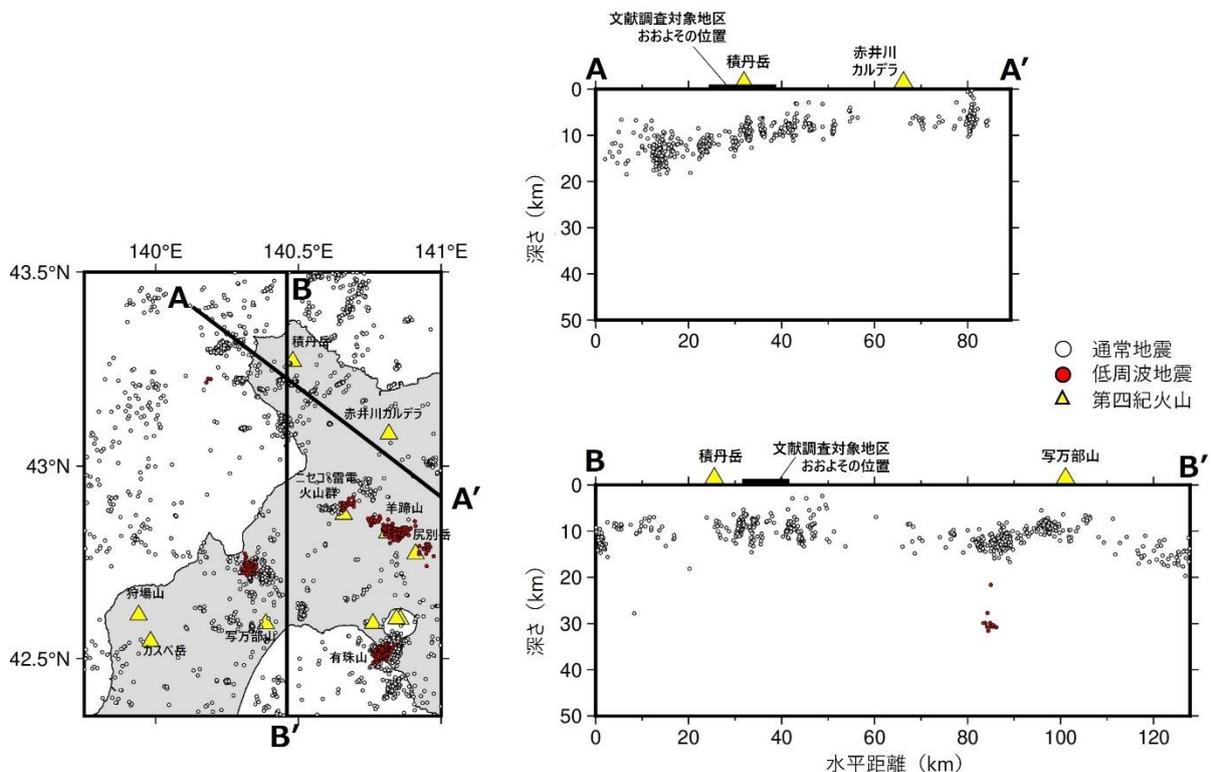


図 4.3-4 文献調査対象地区周辺の震源分布

震源分布は気象庁ホームページ b (データ期間：1997 年 10 月から 2022 年 3 月)、第四紀火山の分布は中野ほか編 (2013) に基づき作成。断面図に示す震源は断面位置から片幅 10 km 以内で発生した地震。

¹³ 震源を固定せずに震源決定され、マグニチュードが推定されており、参考震源とされていないものを震源決定精度が良好なデータとみなした。

(2) 地下水等の化学特性に関する情報

(i) ヘリウム同位体比

森川ほか (2019) によると、上部マントル起源のヘリウムはマグマや熱水流体を介して地表付近に運ばれるため、火山ガス、深層ガス、温泉水・ガスなどに含まれるヘリウムガスの同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$) を測ることにより、マントル物質およびマントルを通過した流体の地球表層への到達を検出できるとされている。ここで、大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($=1.4 \times 10^{-6}$) を 1 Ra とした場合、地殻で生成される $^3\text{He}/^4\text{He}$ は、岩石中のウランやトリウム放射壊変の影響が大きく、約 0.01 Ra 程度と非常に低い。一方、上部マントル起源のヘリウムは 8 ± 1 Ra (森川ほか, 2019) であることが知られている。

日本列島における地下水等の $^3\text{He}/^4\text{He}$ を示した Sano and Nakajima (2008)によれば、4 Ra 以上の高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ は主に火山地域に分布し、2 Ra 未満の低い $^3\text{He}/^4\text{He}$ は主に非火山地域に分布する傾向があることが指摘されている。また、Sakamoto et al. (1992)では、御岳や草津白根などの火山について、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ が火山からの距離とともに減少する傾向が見られることが示されている。

国内の測定値は草野ほか (2012) によって整理されている。図 4.3-5 に、草野ほか (2012) に基づく $^3\text{He}/^4\text{He}$ の分布を示す。これによると、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ の測定データは分布に乏しく、ニセコ・雷電火山群の東部において 7.64×10^{-6} (大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($=1.4 \times 10^{-6}$) と仮定して換算すると約 5.5 Ra) (Sano and Wakita, 1985) を示す。

文献調査対象地区における測定データはなく、火山地域で見られているようなマントル起源ヘリウムの地表への供給は明らかでない。

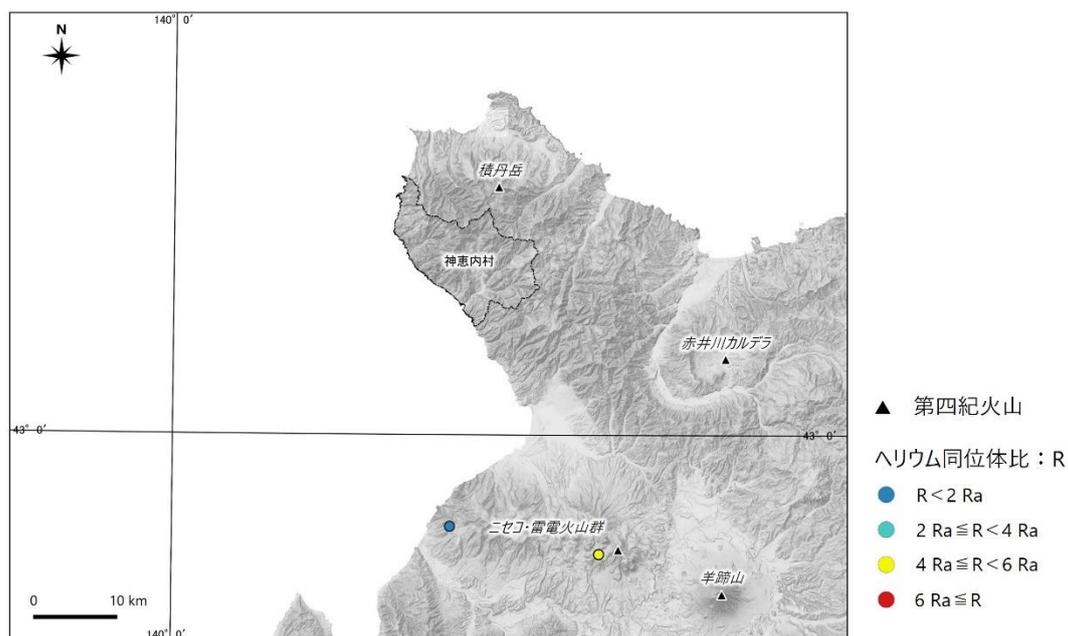


図 4.3-5 文献調査対象地区周辺の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布

$^3\text{He}/^4\text{He}$ は草野ほか (2012)、第四紀火山は中野ほか編 (2013) に基づき作成。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ (R) の分布は大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($=1.4 \times 10^{-6}$) を 1 Ra として表示。基図として「地理院タイル (陰影起伏図および傾斜量図)」(国土地理院) を使用。神恵内村行政界は「国土数値情報 (行政区域データ)」(国土交通省) に基づく。

(ii) Li/Cl 比

Li/Cl は、風早ほか (2014) により提案された、マグマ起源水を含むスラブ起源深部流体の地下水への混入に関する指標であり、深部から上昇してくる高温を経験した熱水成分の Li 濃度が高いこと、深部から上昇する熱水が NaCl 型であると考えられることに基づいている。風早ほか (2014) によると、上記の指標を Cl 濃度 200 mg/L 以上かつ Li/Cl が 0.001 以上の水 (地下水) としており、山陰の火山列上などの地域で Li/Cl が高い流体の上昇が認められることを指摘している。ただし、風早ほか (2015) は、Li/Cl が 0.001 未満であっても Cl 濃度 200 mg/L 以上である場合について、低い Li/Cl を持つ古い海水とスラブ起源水が混合した結果の可能性を否定しない値を持つことを指摘している。

風早ほか (2015) は、日本列島において 200 mg/L 以上の Cl 濃度をもつ深層地下水・湧水を対象として、一定の範囲で区切ったメッシュごとの Li/Cl を示している。図 4.3-6 に、文献調査対象地区周辺の Li/Cl 分布 (風早ほか, 2015) を示す。これによると、積丹半島ではデータの分布に乏しい。

文献調査対象地区では、南端部付近を除いてデータは示されていないが、南端部では Cl 濃度が 200 mg/L 以上かつ Li/Cl が 0.001 以上のデータが示されている。

以上のことから、文献調査対象地区ではスラブ起源深部流体の寄与を示唆する Li/Cl が報告されている。ただし、詳細な測定地点の位置が明らかでなく、スラブ起源深部流体の寄与が示唆される地域を明らかにすることはできなかった。

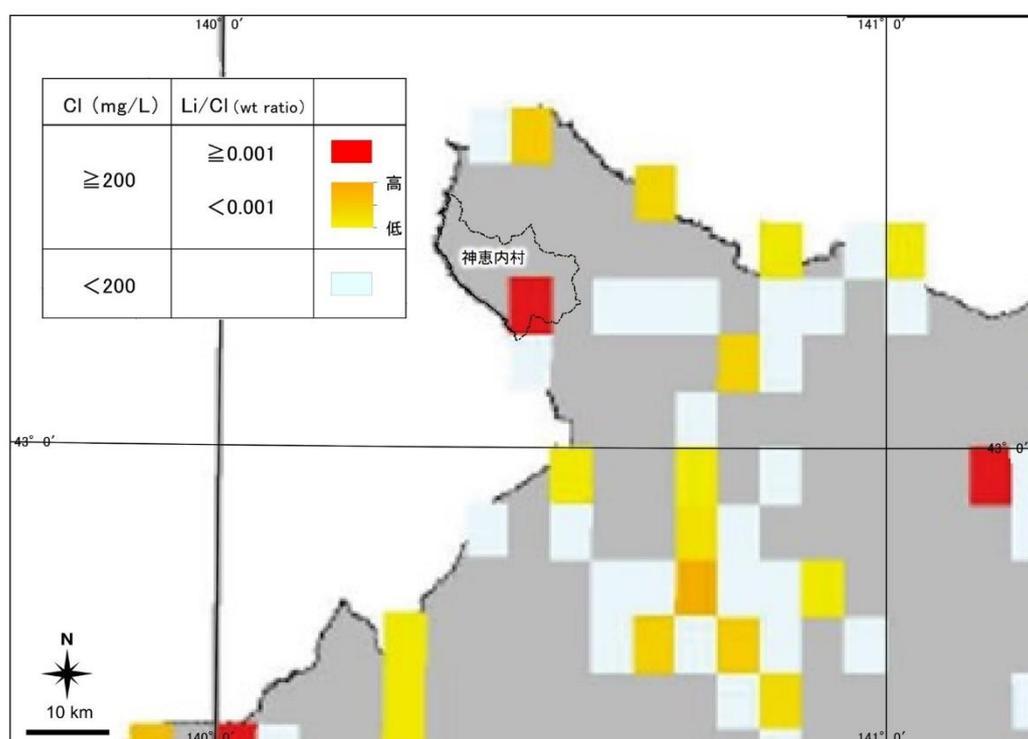


図 4.3-6 文献調査対象地区周辺の Li/Cl 分布

風早ほか (2015) に行政界を追記。神恵内村行政界は「国土数値情報 (行政区域データ) (国土交通省) に基づく。

(iii) 水素酸素同位体比

地下水中に含まれる天水起源の水、マグマ起源水、下部地殻やスラブから供給される深部上昇水、海水などの各種起源の水はそれぞれ特徴的な同位体組成を持っていることが知られており（産業技術総合研究所深部地質環境研究センター，2007），水素・酸素同位体比は地下水の起源推定にしばしば用いられる。

文献調査対象地区を含めた北海道の地下水の起源については，この水素・酸素同位体比等を用いて松波（1992，1995）および松波・鈴木（1997）によって推定されている。図 4.3-7 に，松波・鈴木（1997）による水素・酸素同位体比を示す。文献調査対象地区では，坑井 408-001，417-002，417-011（図 3.2-2 参照）での測定値が示されている。松波・鈴木（1997）によると，図 4.3-7 に示す水素・酸素同位体比の多くは「世界の天水の平均的關係をしめす $\delta D=8\delta^{18}O+10$ と日本海側の冬季の降水の平均的關係をしめす $\delta D=8\delta^{18}O+26$ の両ライン間にプロットされている」ことから大部分については天水起源とみられること，「海水値（ $\delta D=0\text{‰}$ ， $\delta^{18}O=0\text{‰}$ ）と道内の天水値（ $\delta D\approx -60\sim -80\text{‰}$ ， $\delta^{18}O\approx -10\sim -13\text{‰}$ ）を結ぶライン沿いにプロットされている」ものについては天水と海水の混合系からなることを指摘している。文献調査対象地区の北部に位置する坑井 408-001 および南部の海岸線近傍に位置する坑井 417-002 については，これに相当すると考えられる。

一方，坑井 417-011 については，松波（1992）によると，「Br/Cl が海水に類似することや（水素・酸素）同位体比が（北海道の）ほかの海水起源と推定される塩水と同様な傾向をしめすことなどから，海水起源とみなしてよいとみられる」こと，「 δD と Cl の関係は，天水と高 Cl 濃度をもつ有馬型温泉水の領域を結ぶ線とは明らかに異なっている」ことが指摘されている。ただし，その Cl 濃度は海水のそれを上回ることが示されており，「この塩水が海水以上に高濃度になった原因は明らかではない」ことが指摘されている。また，松波（1995）によると，天水と海水を結ぶラインから大きく外れ，その原因については明らかでないこと，熱水系の見地からの詳細な検討が必要と考えられることが指摘されている。なお，松波・鈴木（1997）によると，図 4.3-7 に示す水素・酸素同位体比について，「高温火山ガス（ $\delta D\approx -15\sim -35\text{‰}$ ， $\delta^{18}O\approx +5\sim +8\text{‰}$ ）が明らかに関与していると推定されるものは含まれていないとみられる」ことが指摘されている。

以上のことから，文献調査対象地区における地下水の起源として，マグマ起源水の関与を明らかに示した事例は見られないが，南部に位置する坑井 417-011 の水素・酸素同位体比が天水と海水を結ぶラインから外れており，その原因が明らかでないこととされていることに留意が必要である。

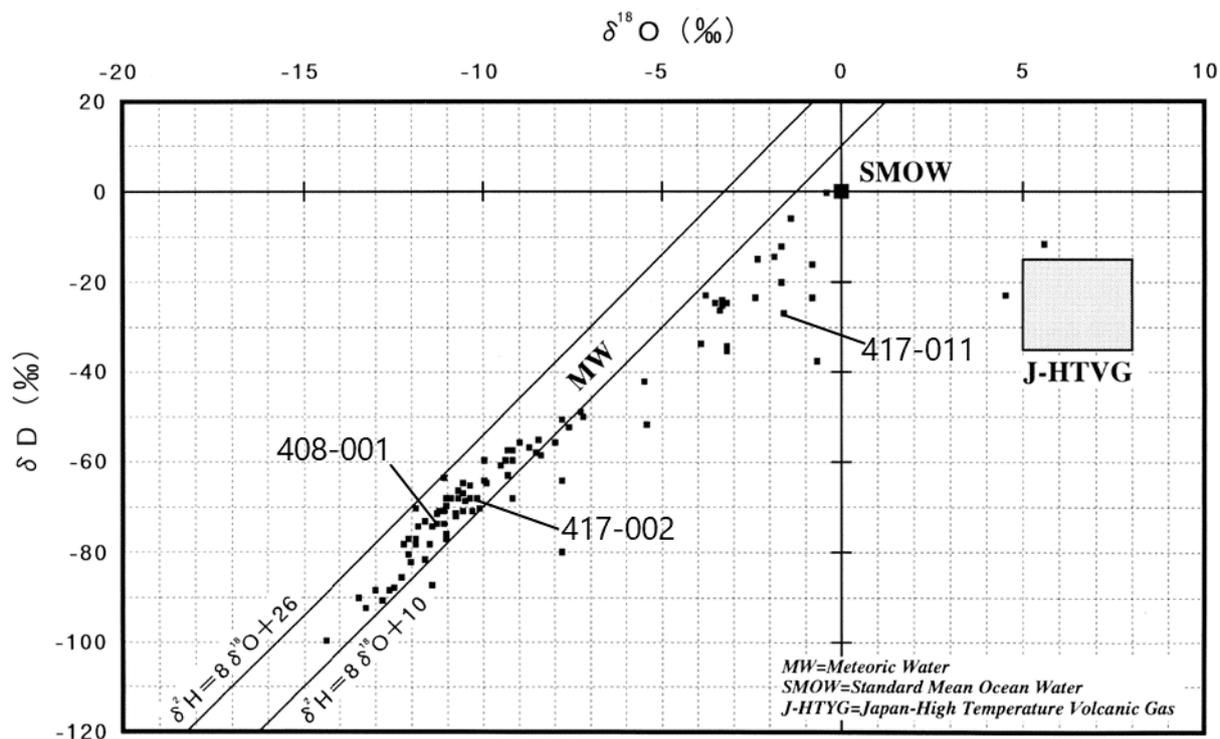


図 4.3-7 北海道における地下水の水素・酸素同位体比

松波・鈴木（1997）に坑井のコード番号を一部加筆（図中の一部でDが2Hとされている）。対応する坑井は名称などを参考に整理。坑井の位置は図 3.2-2 を参照。

(3) 地下深部の物理特性に関する情報

(i) 低周波地震

通常の地震に比べて周期の長い地震波が卓越する低周波地震は、その多くが火山の火口や火道近傍の地殻極浅部や火山周辺の下部地殻～マントル最上部で発生し、マグマあるいは H_2O を主成分とする地殻流体の移動で（あるいはそれに密接に関わって）発生すると考えられてきたが、最近では、火山周辺に限らず、火山から遠く離れた地域の上部地殻を含め、日本列島の広い範囲で発生していることが明らかになり、詳細な発生メカニズムについては現在も議論されている（例えば、長谷川・中島，2022）。

一方、低周波地震が火山周辺で発生することは古くから知られており、メルトの分布を推定した事例（例えば、Umeda et al., 2007）では、地震波速度構造（4.3.2 (3) (ii)）や比抵抗構造（4.3.2 (3) (iii)）といった地下の物性値の分布や温度構造に関連する情報に加えて、低周波地震の震源分布も参照されている。

図 4.3-4 に、気象庁の「地震月報」（気象庁ホームページ b）に基づき、文献調査対象地区周辺の深さ 50 km 以浅で発生した地震の震源分布を示す。これによると、ニセコ・雷電火山群の東部、羊蹄山、尻別岳、有珠山の近傍および黒松内低地帯北部において、低周波地震の震源が局所的に分布する。

文献調査対象地区の周辺では、神恵内村の海岸線から西方 10 数 km 沖合の海域において、深さ 25 ～35 km の範囲に低周波地震の震源が数カ所分布している。これらはすべて、2021 年 7 月 9 日午前 4 時台に発生したものであり、それ以前、また、それ以降にこの周辺で低周波地震が発生した記録

はない。このほかの情報はなく、詳細は不明である。

以上のことから、文献調査対象地区の周辺海域において、数回の低周波地震が観測されているものの、詳細な発生メカニズム等は明らかでなく、地下に流体の存在を示唆する特徴が認められるとはいえない。

(ii) 地震波速度構造および地震波減衰構造

一般に、地震波速度は地下の高温の領域やメルトなどの流体の存在に応じて低下する。また、地震波の減衰はメルトの存在により大きくなることが知られている（例えば、中島，2016）。さらに、P波速度（ V_p ）とS波速度（ V_s ）から計算される V_p/V_s 比も併せて用いることでメルトの存在を検討した事例も報告されており、 V_p と V_s が低く、 V_p/V_s 比が高い場合にメルトの存在を示唆すると解釈されている（Nakajima and Hasegawa, 2003；中島，2017）。ただし、地震波トモグラフィーによって得られる地震波速度構造および地震波減衰構造は、その空間分解能が解析に用いられた地震の分布や地震観測点の配置に依存する（例えば、中島，2016）ことに留意が必要である。

文献調査対象地区を含む領域を対象とした地震波速度構造の推定は、多数の研究により行われている（例えば、Wang and Zhao, 2005；Niu et al., 2016；Shiina et al., 2018；Matsubara et al., 2017, 2019）。また、地震波減衰構造を推定した事例として、Kita et al. (2014), Wang et al. (2017), Wang and Zhao (2019), Hua et al. (2019)が挙げられる。これらの地震波不均質構造の空間分解能は、水平方向で約 20 km から 60 km 以上とさまざまである。

防災科学技術研究所提供の「日本列島下の三次元地震波速度構造（2022年度版）」（Matsubara et al., 2022）に基づく文献調査対象地区周辺の地震波速度構造を図 4.3-8～図 4.3-11 に示す。この地震波速度モデルの空間分解能は、水平方向に約 20 km である（Matsubara et al., 2022）。これによると、積丹岳～赤井川カルデラ、狩場山、カスベ岳の深さ約 10～20 km に P 波低速度体が分布するが（図 4.3-8）、より深部への連続性は確認できない。同領域の V_s は深さ 20 km で低速度であるが（図 4.3-9）、 V_p/V_s 比との対応は明瞭でない（図 4.3-10）。ニセコ・雷電火山群では深さ 20 km で V_s が小さいが、 V_p では顕著ではない。

文献調査対象地区は、積丹岳～赤井川カルデラ下の深さ 20 km に見られる P 波低速度体の端部に位置するが、それ以深の地震波速度構造は確認できない。

以上の特徴は、Niu et al. (2016)などによって示される地震波速度構造や Kita et al. (2014)などによって示される地震波減衰構造と調和的な部分も見られるが、詳細な分布はそれぞれで異なる。このことは、それぞれの解析に使用された地震データが異なることや、空間分解能が低いことなどによる不確かさに起因すると考えられる。

以上のことから、文献調査対象地区の地下に流体の存在を示唆する特徴は認められない。

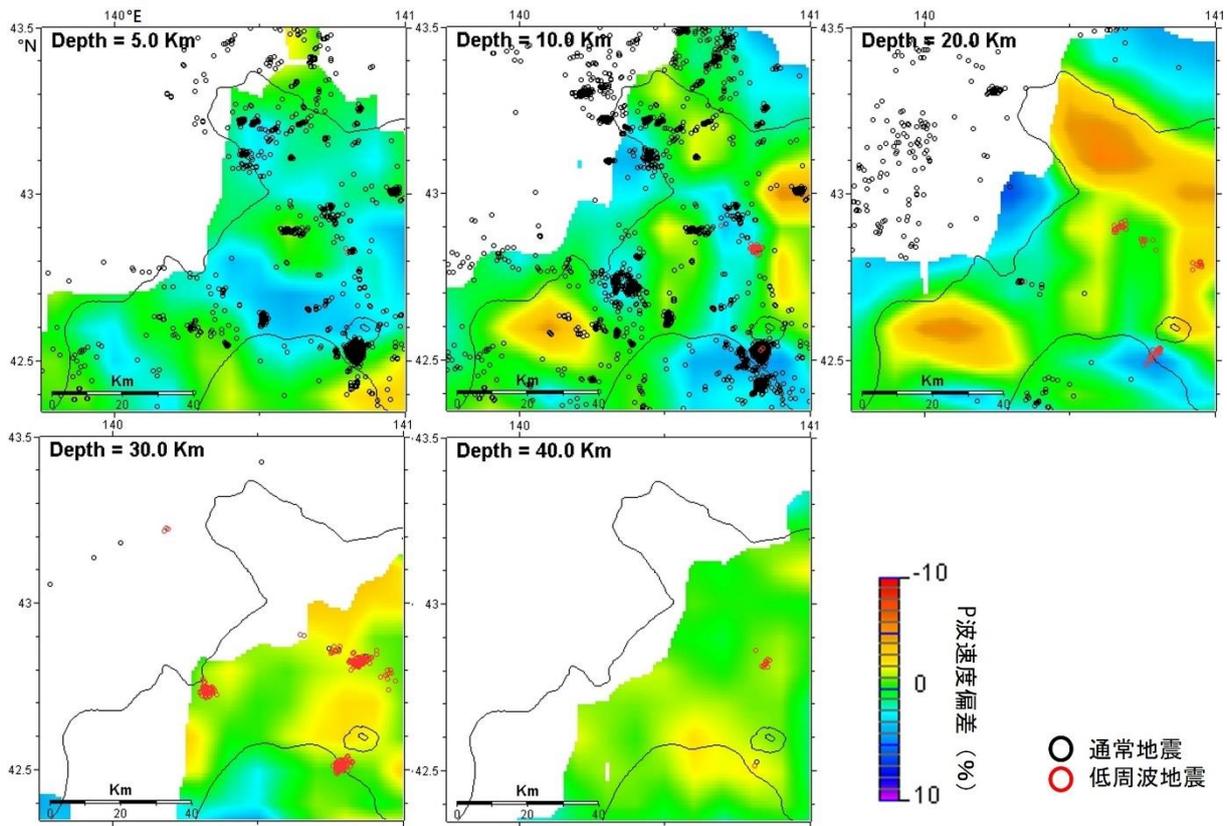


図 4.3-8 文献調査対象地区周辺における P 波速度偏差の分布

Matsubara et al. (2022)および防災科学技術研究所ホームページを用いて作成した図を編集。震源分布は気象庁ホームページb（データ期間：1997年10月から2022年3月）に基づき作成。図中に示す地震は各深度から5 km 以内の深さで発生した地震の震源。

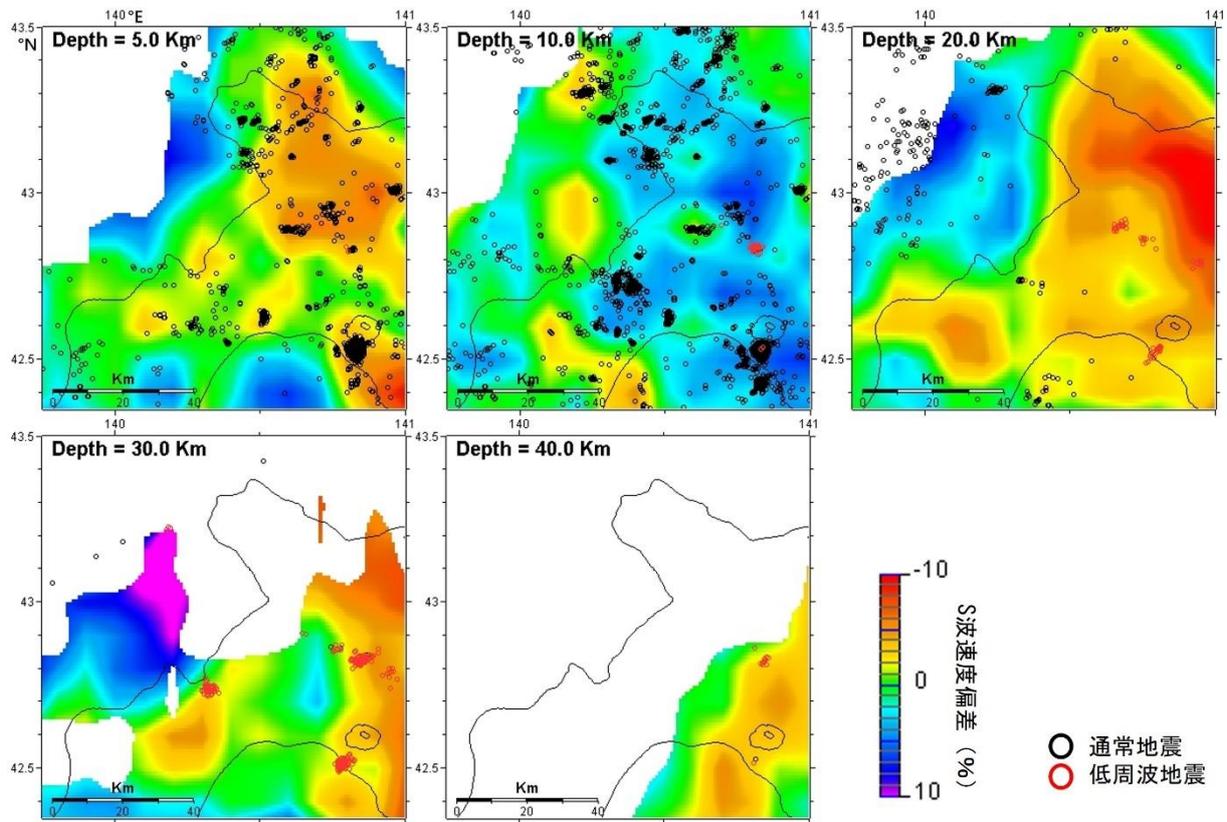


図 4.3-9 文献調査対象地区周辺における S 波速度偏差の分布

Matsubara et al. (2022)および防災科学技術研究所ホームページを用いて作成した図を編集。震源分布は気象庁ホームページb（データ期間：1997年10月から2022年3月）に基づき作成。図中に示す地震は各深度から5 km 以内の深さで発生した地震の震源。

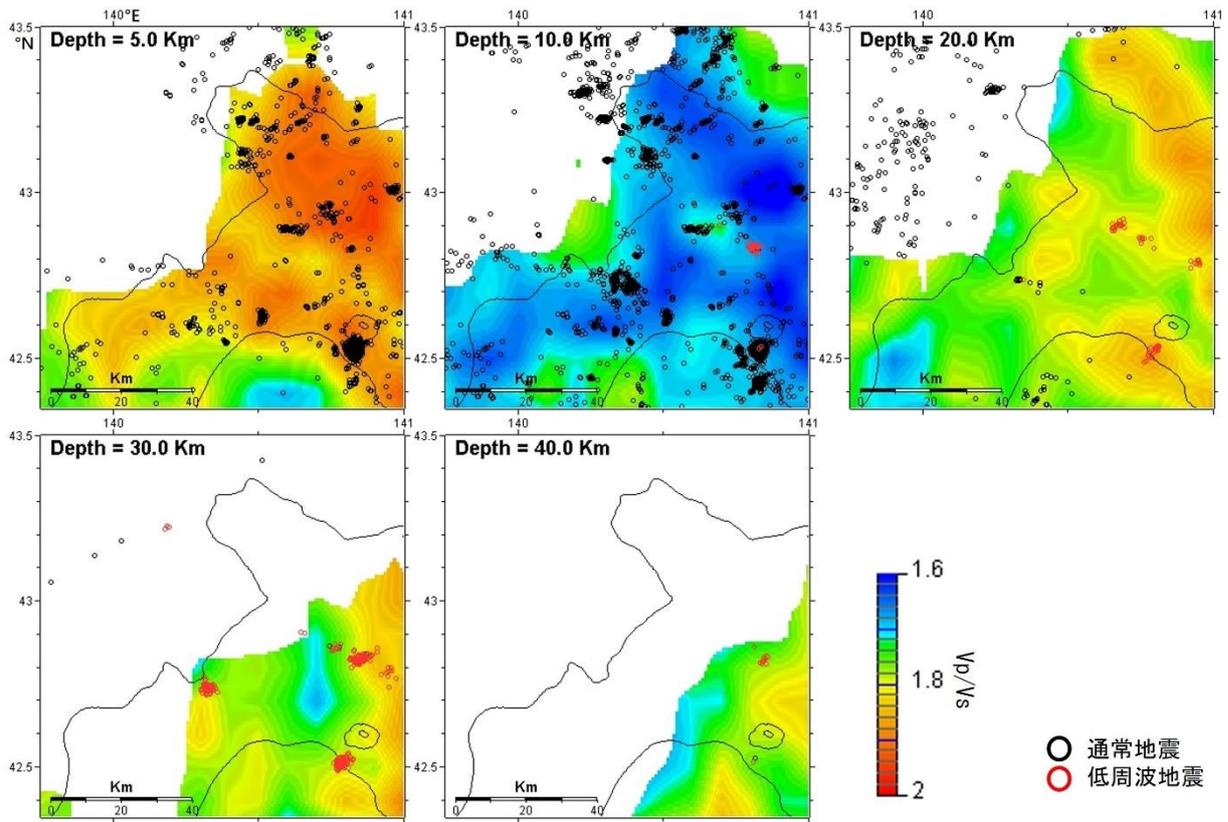


図 4.3-10 文献調査対象地区周辺における V_p/V_s の分布

Matsubara et al. (2022)および防災科学技術研究所ホームページを用いて作成した図を編集。震源分布は気象庁ホームページb（データ期間：1997年10月から2022年3月）に基づき作成。図中に示す地震は各深度から5 km 以内の深さで発生した地震の震源。

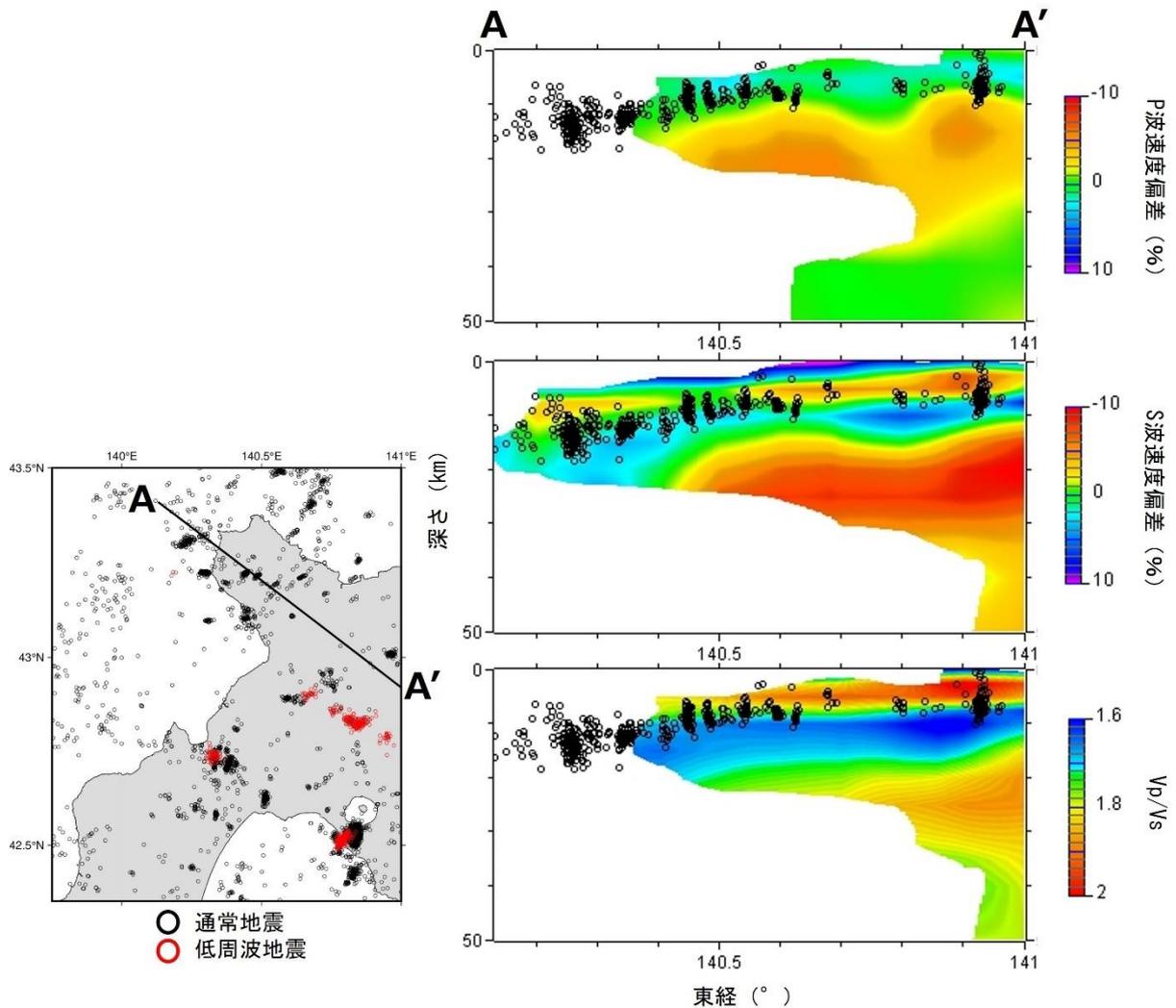


図 4.3-11 文献調査対象地区周辺の地震波速度断面図

Matsubara et al. (2022)および防災科学技術研究所ホームページを用いて作成した図を編集。震源分布は気象庁ホームページb（データ期間：1997年10月から2022年3月）に基づき作成。図中に示す地震は断面位置から片幅10 km以内で発生した地震の震源。

(iii) 比抵抗構造

一般に、電磁探査によって推定される比抵抗は、岩石の状態を反映して変化する物性値である。地下にメルトなどの流体が存在する場合、比抵抗は大きく低下することが知られており（例えば、中島, 2016）、富士山下の比抵抗構造を推定した事例（Aizawa et al., 2004）では、マグマ溜りを示唆する顕著な低比抵抗体が深さ15 km以深に認められている。このことから、比抵抗構造は、上述した地震波速度構造などとともに、特に地表から地殻深部またはマントル最上部までの領域におけるメルトなどの流体の分布を把握するために用いられている（例えば、Umeda, 2009）。

文献調査対象地区の比抵抗構造を示した文献は見当たらない。なお、文献調査対象地区は含まないがその南方に位置するニセコ地域（ニセコ・雷電火山群の東部）では、Tamura et al. (2022)によって深さ12 kmまでの三次元比抵抗構造が推定されている。これによると、火山性流体の存在を示唆する低比抵抗体が地下2 km以深において鉛直に分布し、マグマの上昇システムの存在を示唆して

いることを指摘している。さらに Oka et al. (2023)は、この低比抵抗体や坑井温度などの情報を考慮して、イワオヌプリおよびチセヌプリの深さ約 3 km にマグマ溜りが存在し、それによって火山活動が引き起こされた可能性を指摘している。

以上の比抵抗構造に関する情報に基づくと、文献調査対象地区の地下に流体の存在を示唆する特徴は認められない。

4.3.3 マントルウェッジにおけるメルトの生成と移動

本項では、将来、深部のマントルウェッジから地殻へメルトが貫入し、新たな火山を生じさせる可能性を検討するための情報として、メルトの生成に関連する温度構造についての数値シミュレーションと現在の高温域・流体分布に関連する不均質構造に関する知見を整理した。ただし、「文献調査段階の評価の考え方」の基準への該当性の確認の仕方に示されるように (1.1.3 参照)、新たな火山の発生の蓋然性を具体的な地点において評価する手法は確立されておらず、今回、整理した知見に基づいて評価を行うことはできない。よって、研究の現状について整理するに留めることとする。

(1) メルトの生成に関連する温度構造についての数値シミュレーション

4.3.1 で述べたように、カンラン岩の溶融やスラブの脱水にはマントルウェッジやスラブの温度構造が関与する。本項では、スラブの沈み込みを仮定した数値シミュレーションによるマントルウェッジの温度構造、それに基づくメルトの生成、これらと火山の分布傾向との関連性が検討された研究事例から、現状の知見について整理する。

東北日本に沈み込む太平洋スラブの沈み込みを仮定した数値シミュレーションは、Honda and Yoshida (2005), Lee and Wada (2017, 2021), Morishige (2015), Wada et al. (2015)などによって行われており、典型的な沈み込み帯である東北地方を対象とした研究が多い。東北地方では、第四紀*火山が島弧に直交する方向に細長く分布する複数のクラスターに分けられる (Tamura et al., 2002) ことが指摘されているが (3.1.2 参照)、数値シミュレーションによって推定された温度構造等をもとに、このような火山の分布傾向に関する説明が試みられており、主に以下のことが指摘されている。

- ・ マントルウェッジでは、粘性・温度などの物性の不均質やスラブの沈み込みなどに起因して、高温域と低温域が島弧に沿って交互に形成され得ること (例えば, Honda and Yoshida, 2005 ; Lee and Wada, 2017, 2021)
- ・ このうち高温域ではマントルウェッジでの溶融がとくに促進されること (例えば, Yoo and Lee, 2020)
- ・ マントルウェッジにおけるこれらの温度不均質により、火山がクラスター化するに至った可能性 (例えば, Lee and Wada, 2017)

ただし、数値シミュレーションの初期条件や境界条件などのほか、三次元的な対流が生じる原因に関する見解は、それぞれの研究で異なる。また、Nakajima et al. (2013)によると、地震観測データから推定されるマントルウェッジの地震波減衰構造が島弧に沿って顕著な変化を示さないことから、火成活動はマントルウェッジの温度分布ではなく、部分溶融の程度に依存している可能性を指摘している。

文献調査対象地区は東北日本弧の北東端部に位置するが (米倉ほか, 2001)、沈み込む太平洋スラブは西南北海道で屈曲し、それ以南では西方向に、以東では北西方向に傾斜する (例えば, Hasegawa

et al., 2009)。この東北日本弧と千島弧の会合部を対象とした研究事例として、Wada et al. (2015)およびMorishige and van Keken (2014)が挙げられる。

Wada et al. (2015)は北海道地方から東北地方を対象に、北海道～東北の間で蝶番のように屈曲している太平洋スラブの形状をモデル化し、プレート沈み込み帯の三次元数値シミュレーションを行っている。これによると、西南北海道では、屈曲したスラブの沈み込みによって生じる三次元的なマントル対流の影響を受けて、マントルウェッジの温度が周囲よりも低温となることが指摘されている。さらに、このマントル対流の向きが、北海道東部で火山が雁行配列している(中川ほか, 1999)ことの重要な要因となっている可能性を指摘している。一方で、文献調査対象地区の周辺で北西-南東方向に卓越する火山列(例えば、Watanabe, 1990)や、北海道の火山地域が三つに区分されること(中川ほか, 1995) (3.1.1 参照)とマントル対流の関連性についての指摘はない。

Morishige and van Keken (2014)では、太平洋スラブを単純な形状でモデル化して三次元数値シミュレーションを行い、スラブ表面の温度構造を推定している。これによると、解析ケースによってはスラブの屈曲部で高温になり得ることが指摘されており、Wada et al. (2015)とは逆のパターンを示している。これらの温度構造と火山分布の関連性については言及されていない。

以上の数値シミュレーションに関する知見を整理した結果、マントルウェッジの温度構造に基づくメルトの生成場と火山の分布傾向との関連性については、定性的な説明が試みられている段階であることが判明した。

(2) 現在の高温域・流体分布に関連する不均質構造

4.3.1 で述べたように、マントルウェッジで生じたメルトはモホ面直下まで移動し、地殻への貫入と地表への噴出によって火山が形成される。このうちマントルウェッジでのメルトの供給路は、地震波不均質構造などに基づいて議論されている。本項では、文献調査対象地区を含む北海道地域のマントルウェッジにおける現在の不均質構造と火山の分布傾向の関連性が検討された研究事例を整理する。

一般に、地震波や電磁場の観測データを解析することによって推定される地球内部の地震波速度、地震波の減衰、比抵抗は、岩石中のメルトや水といった流体の存在や温度の違いなどに依存する。このため、東北日本弧や千島弧を含む多くの沈み込み帯では、地震波速度構造、地震波減衰構造、比抵抗構造等の空間分布をもとに、地表の火山に供給する地球内部の流体や高温域の存在・分布の推定が試みられている(例えば、Nakajima et al., 2001)。

北海道地域のマントルウェッジの地震波速度構造は、Wang and Zhao (2005), Niu et al. (2016), Shiina et al. (2018), Matsubara et al. (2017, 2019, 2022)などによって推定されている。地震波減衰構造は、Kita et al. (2014), Wang et al. (2017), Wang and Zhao (2019), Hua et al. (2019)によって推定されている。その一例として、防災科学技術研究所提供の「日本列島下の三次元地震波速度構造 (2022 年度版)」

(Matsubara et al., 2022) に基づく地震波速度構造 (P 波速度偏差) を図 4.3-12 に示す。なお、比抵抗構造を推定した事例は見当たらない。

これらの研究によると、メルトを含む流体や高温域の存在を示唆する地震波低速度域や地震波高減衰域が、北海道地域のマントルウェッジに認められることが指摘されている(例えば、Matsubara et al., 2019)。また、いくつかの研究では、北海道全域あるいは一部の地域に対して見られる大局的な特徴として、地震波低速度域や地震波高減衰域が背弧域の深部から火山フロント下のマントル最上部まで連続し、火山に供給するメルト等の存在を示唆することが指摘されている(Wang and Zhao,

2005 ; Kita et al., 2014 ; Shiina et al., 2018) (4.3.1 参照) が、火山の分布傾向との関連性については言及されていない。

北海道における第四紀火山の分布傾向 (3.1.2 参照) と地下の高温域・流体分布に関連する不均質構造の関連性を指摘した研究は、Kita et al. (2014)である。これによると、北海道全域を対象として推定されたおよそ 120 km までの深さの地震波減衰構造に基づけば、背弧域では深部から火山下のマントル最上部に延びる地震波高減衰域が認められ、非火山地域ではこの特徴が顕著に見られないことを指摘している。ただし、より詳細な空間スケールとして、例えば、文献調査対象地区の周辺で指摘されている北西-南東に卓越する火山列 (例えば、Watanabe, 1990) との関連性は指摘されていない。

以上のことから、現在のマントルウェッジにおける高温域・流体分布に関連する不均質構造については、広域的な火山分布の傾向との関連性について説明が試みられている段階であることが判明した。

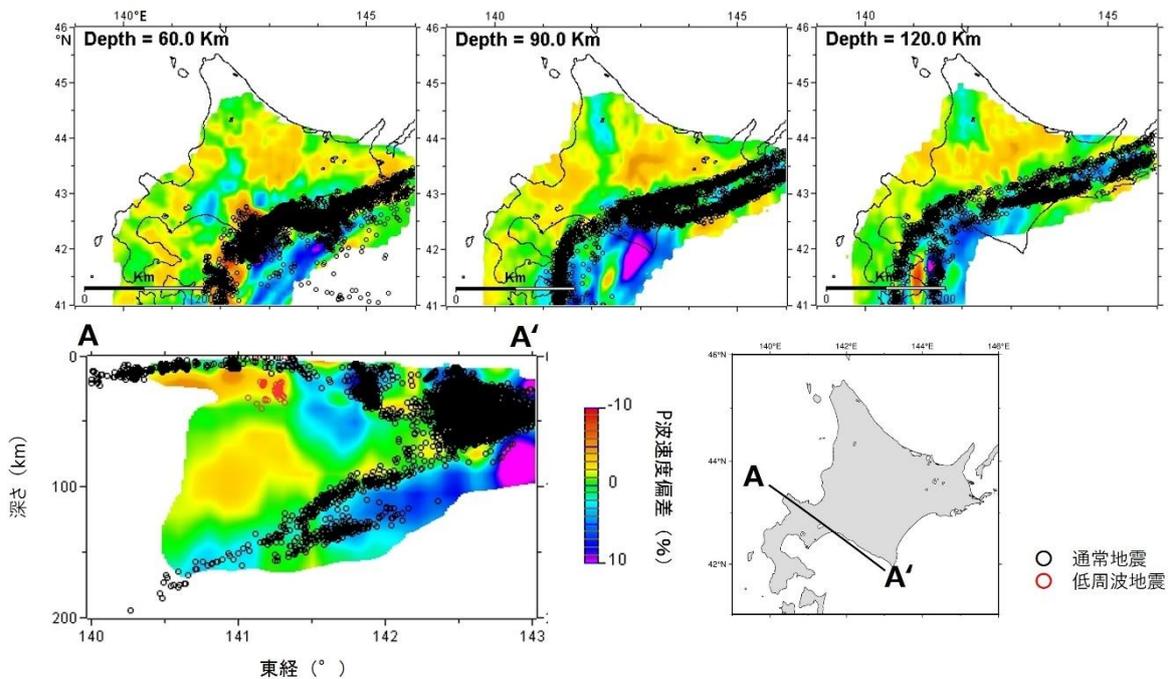


図 4.3-12 北海道における P 波速度偏差の分布

Matsubara et al. (2022)および防災科学技術研究所ホームページを用いて作成した図を編集。震源分布は気象庁ホームページb (データ期間：1997年10月から2022年3月)に基づき作成。平面図中に示す地震は各深度から5 km 以内の深さで発生した地震の震源、断面図中に示す地震は断面位置から片幅10 km 以内で発生した地震の震源。

第5章 基準に照らした評価

本章では、1.1.3に示した「文献調査段階の評価の考え方」に従って、第4章で整理した情報や知見をもとに評価を行った。以下に「文献調査段階の評価の考え方」を再掲する。なお、「第四紀に活動した火山の活動中心」については、1.2.4に示したように、活動中心の位置としての妥当性を総合的に検討し、基準（ア）の履歴が（イ）の範囲に収まることを確認する必要がある。

マグマの貫入と噴出の基準

最終処分法第六条第二項の第一号及び第二号に対して、以下に該当することが明らかまたは可能性が高い場所を避ける。

（ア）マグマの貫入等^Aによる人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈、カルデラ等の履歴が存在する。

同第二号に対して、以下に該当することが明らかまたは可能性が高い場所を避ける。

（イ）第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね15キロメートル以内。

（ウ）第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる。

^A マグマの貫入を伴わない水蒸気噴火

マグマの貫入と噴出の基準への該当性の確認の仕方

○ 第四紀の火山活動

地質図等の資料に記載される火山噴出物の年代測定データ及び層序等に基づいて、第四紀火山及びその活動に伴う噴出物であることを確認する。

○ マグマの貫入等による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈、カルデラ等の履歴

第四紀にマグマが噴出・貫入した場所や水蒸気噴火が生じた場所を直接的に示すものとして、地質の観点から火道、貫入岩、岩脈、シル及びそれらを指すもの^A、地形の観点からカルデラ、火口及びそれらを指すもの^Bを対象とする。

○ 第四紀に活動した火山の活動中心

文献・データ^Cに示された火道・火口等の情報に基づき、活動中心の位置を定める。活動中心とする妥当性が十分に得られない場合は、概要調査段階以降に判断する。

○ 新たな火山の発生

プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は今後10万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、火山の発生メカニズムに関する地域性の観点から、現在マグマの発生条件が成立していることが否定できない場合、以下を行う。

文献調査対象地区下の地殻及びマントル最上部にメルトが存在する可能性を地球物理学的、地球化学的な観測データ^Dを用いて評価する。

将来、より深部から地殻にメルトが貫入する可能性については、「現時点においてマグマの発生条件の成立を否定できない地域について、新たな火山の発生の蓋然性を評価する場合には、マントルウェッジの対流や沈み込む海洋プレートの特性等を加味した評価モデル等の構築によって評価することが考えられるが、研究段階であり、現時点においては確立された評価方法は見当たらない^Eとされていることから、関連する情報^Fを整理しておく。

A 文献によって、岩床、フィダーダイク等と記載されている場合がある。

B 文献によって、爆裂火口、火口列等と記載されている場合がある。

C 科学的特性マップ（図の精度は縮尺 200 万の 1 程度）においては、第四紀火山の中心から 15km の好ましくない範囲を描画するに当たって、全国規模で利用可能な文献・データである「日本の火山（第 3 版）」および「日本の第四紀火山カタログ」の情報を用いて火山の中心を設定している。日本の火山（第 3 版）では、火山の中心の位置は示されておらず、「火山を代表する位置（最高標高点）が示され（中略）日本の第四紀火山カタログでは多くの火山について主火道の位置等の情報をもとに火山中心の位置を評価・特定している」とされている。一方で、これらの文献に示されている火山の位置については、設定した根拠、理由等が必ずしも詳細には説明されていないため、文献調査においてはこれらの文献に加えて、個別の研究論文等を調査し、火道・火口等の情報を詳細に評価するものとする。

D 例えば、地殻熱流量、地震波速度構造、比抵抗構造、ヘリウム同位体比、低周波地震、地震波減衰構造の観測データ。

E 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第 3 回目）－火山の専門家への意見聴取結果－2022 年 5 月 18 日 原子力規制庁。

F 例えば、マントルウェッジにおける脱水・溶融の数値シミュレーションや現在の高温域・流体分布に係る不均質構造等が挙げられる。

5.1 マグマの貫入等による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約 258 万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈、カルデラ等の履歴

第 4 章で整理した内容に基づき、基準（ア）に係る評価を以下のとおり行った。

第四紀における火山活動に伴うことが明らか、またはその可能性が高いと考えられる火道、カルデラを示す明瞭な地質学的・地形学的な特徴は、文献調査対象地区内に認められなかった。

岩脈については 4.2.3 (1) に示したように、文献調査対象地区内の「珊内川中流に分布する岩脈」において $2.9 \pm 0.6 \text{ Ma}$ の全岩 FT 年代（全岩もしくは FT について誤記の可能性あり）（通商産業省資源エネルギー庁，1985）が確認された（図 5.3-1）。この岩脈については、測定誤差を考慮して、第四紀の火山活動に係る岩脈である可能性が高いと判断した。よって、本岩脈の分布域を避ける場所と評価した。

5.2 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね 15 km 以内

第 4 章で整理した内容に基づき、基準（イ）に係る評価を以下のとおり行った。

文献調査対象地区の行政界からおおむね 15 km 以内に火山噴出物が分布する第四紀火山として、積丹岳が挙げられる。

4.1.2 に示したように、積丹岳の火道や火口に関する情報は認められなかった。西来ほか編（2012）は、積丹岳山頂を「主要な位置」として示している。これは、中野ほか編（2013）が示している座標位置に一致する。

以上のことから、積丹岳の活動中心については、「基準への該当性の確認の仕方」に従って、火道・火口等の情報に基づいて位置を定めることができないため、西来ほか編（2012）などの文献に示される積丹岳山頂の位置を暫定的な活動中心とした。

図 5.3-1 に、積丹岳の活動中心から 15 km 以内の範囲を示す。文献調査対象地区の広い範囲が 15

km 以内の範囲に含まれ、これらを避ける場所と評価した。

5.3 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる可能性

第4章で整理した内容に基づき、基準（ウ）に係る評価を以下のとおり行った。

4.3.1 に示したように、文献調査対象地区は背弧域に位置しており、新たな火山の発生に寄与するマグマの発生条件の成立性を否定することはできないと判断し、以下の評価を行った。

4.3.2 で示したように、文献調査対象地区における地下深部の温度構造、物理特性、地下水等の化学特性に関する情報には、データの粗密や空間分解能の制約、文献による相違があり、文献調査の段階で、相対的な高温領域やマントル起源流体の供給の有無、地下深部の流体の存在や分布について明らかにすることはできなかった。

また、4.3.3 で示したように、将来、より深部から地殻にメルトが貫入する可能性については、新たな火山の発生の蓋然性を具体的な地点において評価する手法は確立されておらず、今回、整理した知見に基づいて評価を行うことはできなかった。

以上のことから、文献調査対象地区下にメルトが存在する可能性について判断できず、将来、より深部から地殻にメルトが貫入する可能性については評価できなかった。したがって、基準（ウ）に該当することが明らかまたは可能性が高いかを判断することはできず、現段階においては避ける場所はないものと評価する。

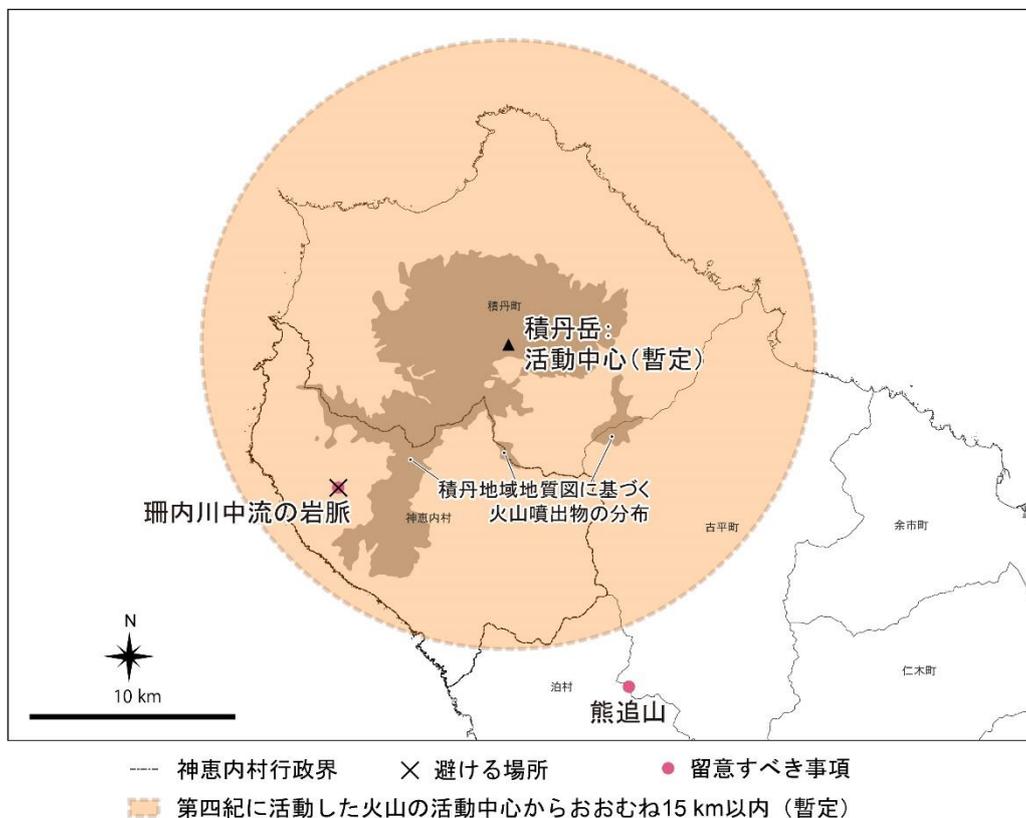


図 5.3-1 基準に照らした評価の対象とそのおおよその位置
基図として「国土数値情報（行政区域データ）」（国土交通省）を使用。

5.4 概要調査に向けた考え方

文献調査において十分評価できなかった点について、概要調査では、精密調査地区として選定しようとする地区に対して「マグマの貫入と噴出」などに伴う影響が及ぶおそれがないかを確認し、評価を行う。したがって、精密調査地区として選定しようとする地区からの距離に応じて、個別の火山などに対する調査・評価の詳細度が変化する可能性がある。また、影響が及ぶおそれがないことの確認が難しい領域については、その領域から離隔距離を取ったうえで精密調査地区を選定することとする。特に、基準（イ）および（ウ）の評価に際しては、大きく離隔距離を取る必要が生じる可能性があり、精密調査地区として選定しようとする地区が残らないと結論づけられる場合も考えられる。

上記の考え方で調査・評価していくことにより、文献調査において情報の不足により十分に評価できなかった点についても結論を得ることができる見通しである。

概要調査では、産業技術総合研究所深部地質環境研究センター編（2007）や産業技術総合研究所深部地質環境研究コア編（2012）、原子力規制委員会（2013）などを参照し、空中や地上の物理探査、地形調査、地表踏査、ボーリング調査及び岩石、地下水試料などの分析を組み合わせ、調査・評価を行う。特に基準（ウ）に関しては、飯豊山地を例とした Umeda et al.（2006, 2007）などの既往の調査・評価例なども参照する。

本調査において十分に評価できなかった点のうち、概要調査に向けて留意すべき事項を以下に示す。

基準（ア）については、以下のとおり。

- ・ 文献調査対象地区南東端部に火山噴出物が分布する「熊追山」（4.2.1 参照）（図 5.3-1）は第四紀に活動した可能性が指摘されているが、年代測定データを確認できず、層序に関する情報も不足しているため、情報を拡充する必要がある。
- ・ 活動時期が明らかでない火山岩体、貫入岩・岩脈が、文献調査対象地区内に複数分布しているが、年代測定データまたは層序に関する情報が不足しているため、情報を拡充する必要があるが、情報が拡充できたとしても火道、岩脈等の形成時期を明らかにすることが難しい可能性も考えられる。

基準（イ）については、以下のとおり。

- ・ 積丹岳については、明確な火道や火口の情報を確認できないことから、現地で火道・火口等に関する情報を拡充し、活動中心を再度検討する必要がある。その際、積丹岳山頂付近には大規模な地すべり地形がみられ、侵食により火山体の原型が失われてしまっている可能性を否定できないこと（4.1.2 参照）にも留意する。さらに、火道や火口の情報を得られない場合には、すでに得られている噴出量、山体の拡がりなどから活動中心を評価せざるを得ないことも想定されるが、地層処分技術 WG（2017）によれば、「複成火山は、中心火口から繰り返し噴出物を放出することで山が成長するため、火山中心が最も高くなることが一般的」とされている。積丹岳は「複成火山」に該当し（3.1.4 参照）、その最高標高点は、本調査で暫定的な活動中心とした積丹岳山頂ではなく、余別岳であることにも留意する必要がある。
- ・ 5.1 にも示した「珊内川中流の岩脈」は、積丹岳の活動中心から 15km 以内の範囲に含まれるものの（図 5.3-1）、積丹岳の活動に関連した岩脈であるか定かではない。岩石の組成などに

ついて調査し、積丹岳とは関連のない火山活動と認定される場合には、基準（イ）の評価について検討する必要がある。

- ・ 4.2 に示したように、第四紀の活動の可能性が指摘されている、または活動時期が明らかでない、火山岩体、岩脈などが、文献調査対象地区および海域も含めた周辺地域に分布している。このうち、5.1 にも示した「熊追山」（図 5.3-1）は、第四紀の火山活動であることが確認できた場合には、基準（イ）の評価について検討する必要がある。

基準（ウ）については、以下のとおり。

- ・ 地震探査、電磁探査などの物理探査やボーリング調査により、十分に検討することができなかった地下深部の温度構造、地下水等の化学特性、地震波速度構造を含む物理特性に関する情報を拡充する必要がある。
- ・ 特に、地下水等の化学特性に関して、文献調査対象地区の南部で、マグマ起源水を含むスラブ起源深部流体の寄与を示唆する Li/Cl 比、天水や海水起源とは異なると考えられる水素・酸素同位体比が観測されていること（4.3.2 参照）も考慮すること。
- ・ ただし、「現在、地殻及びマントル最上部にメルトが存在する可能性」については、地下の情報が拡充できたとしても必ずしも評価が可能となるわけではないことに留意が必要である。
- ・ 「将来、より深部から地殻にメルトが貫入する可能性」については 4.3.3 で整理したように、メルトの生成に関連する温度構造についての数値シミュレーションを通じて、マントルウェッジの温度構造に基づくメルトの生成場と火山の分布傾向との関連性の定性的な説明が試みられている段階であること、現在の高温域・流体分布に関連する不均質構造については、広域的な火山分布の傾向との関連性について説明が試みられている段階であることを把握している。したがって、概要調査においては、現時点で確立された評価方法自体が見当たらない（原子力規制庁、2022）状況であることも踏まえ、関連する数値モデルやシミュレーション、不確実性評価に関する技術的進展や適用性を精査し、可能性を有する手法を用いた評価の実施を検討する。

引用文献

- Aizawa, K., Yoshimura, R., Oshiman, N. (2004) Splitting of the Philippine Sea Plate and a magma chamber beneath Mt. Fuji, *Geophysical Research Letters*, 31, L09603, doi: 10.1029/2004GL019477.
- 秋葉文雄(1983)北太平洋中高緯度地域の新第三系珪藻化石帯区分の改訂—基準面の評価と時代—, *海洋科学*, 13, 12, pp. 717-724.
- 浅森浩一, 石丸恒存, 岩月輝希(2002)日本列島における火山周辺の酸性地下水分布, *サイクル機構技報*, 15, pp. 103-111.
- 防災科学技術研究所: 日本列島三次元地震波速度構造表示ソフトウェア, https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/software.php, 2023年6月8日閲覧.
- 第四紀火山カタログ委員会編(1999)日本の第四紀火山カタログ, 日本火山学会.
- 沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会(2016)沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会 とりまとめ.
- 藤本和徳, 竹林 勇, 鈴木豊重(1979)神恵内村温泉試すい調査報告, *地下資源調査所報告*, 51, pp. 63-72.
- 原子力発電環境整備機構(2020)北海道古宇郡神恵内村 文献調査計画書.
- 原子力規制庁(2022)「地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討(第3回目)ー火山の専門家への意見聴取結果ー」, 令和4年度第10回, 原子力規制委員会資料2, 令和4年5月18日.
- 原子力規制委員会(2013)原子力発電所の火山影響評価ガイド(改正令和元年12月18日).
- 原子力規制委員会(2022)特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項.
- 長谷川 昭, 中島淳一, 海野徳仁, 三浦 哲, 諏訪謡子(2004)東北日本弧における地殻の変形と内陸地震の発生様式, *地震 第2輯*, 56, 4, pp. 413-424.
- Hasegawa, A., Nakajima, J., Uchida, N., Okada, T., Zhao, D., Matsuzawa, T., Umino, N. (2009) Plate subduction, and generation of earthquakes and magmas in Japan as inferred from seismic observations: An overview, *Gondwana Research*, 16, pp. 370-400.
- 長谷川 昭, 中島淳一, 内田直希, 梁田高広, 岡田知己, 趙 大鵬, 松澤 暢, 海野徳仁(2012)沈み込み帯の地震の発生機構—地殻流体に規定されて発生する沈み込み帯の地震—, *地学雑誌*, 121, 1, pp. 128-160.
- 長谷川 昭, 中島淳一(2022)陸域下の低周波地震とその地震学のおよびテクトニクスの意義, *地学雑誌*, 131, 3, pp. 289-315.
- 長谷川 潔, 寺島克文, 黒沢邦彦(1983)北海道の地質と資源 III 北海道の金属鉱物資源, 北海道立地下資源調査所.
- 広瀬 亘, 岩崎深雪, 中川光弘(2000)北海道中央部～西部の新第三紀火成活動の変遷: K-Ar年代, 火山活動様式および全岩化学組成から見た東北日本弧北端の島弧火成活動の変遷, *地質学雑誌*, 106, 2, pp. 120-135.
- 北海道電力(2015)泊発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書(3号発電用原子炉施設の変更).
- 北海道電力(2016)第404回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(2016年9月30日)

開催)。

- Honda, S., Yoshida, T. (2005) Application of the model of small-scale convection under the island arc to the NE Honshu subduction zone, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6, 1, Q01002, doi: 10.1029/2004GC000785.
- Honda, S., Yoshida, T., Aoike, K. (2007) Spatial and temporal evolution of arc volcanism in the northeast Honshu and Izu-Bonin Arcs: Evidence of small-scale convection under the island arc?, *Island Arc*, 16, pp. 214–223.
- Hua, Y., Zhao, D., Xu, Y., Wang, Z. (2019) Arc-arc collision caused the 2018 Eastern Iwate earthquake (M 6.7) in Hokkaido, Japan, *Scientific Reports*, 9:13914, doi: 10.1038/s41598-019-50305-x.
- 猪木幸男, 垣見俊弘 (1954) 5 万分の 1 地質図幅「小樽西部」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 10 号, 北海道開発庁.
- Iinuma, T., Kato, T., Hori, M. (2005) Inversion of GPS velocity and seismicity data to yield changes in stress in the Japanese Islands, *Geophysical Journal International*, 160, 2, pp. 417–434.
- 石田正夫, 三村弘二, 広島俊男 (1991) 20 万分の 1 地質図幅「岩内 (第 2 版)」, 20 万分の 1 地質図, 地質調査所.
- 石原舜三, 佐々木 昭, 佐藤興平 (1992) 日本鉱床生成図 深成岩活動と鉱化作用 (3) 第三紀–第四紀, 200 万分の 1 地質編集図, 15-3, 地質調査所.
- 海上保安庁水路部 (1995) 沿岸の海の基本図 (5 万分の 1) 寿都, 海図, 第 6325 号^{1-S}.
- 核燃料サイクル開発機構 (1999) わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—分冊 1 わが国の地質環境, JNC TN1400 99-021.
- 帷子二郎 (1926a) 北海道赤井川カルデラに就て (上), *地理学評論*, 2, 11, pp. 899–924.
- 帷子二郎 (1926b) 北海道赤井川カルデラに就て (下), *地理学評論*, 2, 12, pp. 1064–1092.
- 風早康平, 高橋正明, 安原正也, 西尾嘉朗, 稲村明彦, 森川徳敏, 佐藤 努, 高橋 浩, 北岡豪一, 大沢信二, 尾山洋一, 大和田道子, 塚本 斉, 堀口桂香, 戸崎裕貴, 切田 司 (2014) 西南日本におけるスラブ起源深部流体の分布と特徴, *日本水文科学会誌*, 44, 1, pp. 3–16.
- 風早康平, 高橋正明, 切田 司, 内藤一樹, 渡部芳夫 (2015) 日本列島におけるスラブ起源水の上昇地域の分布図, 地質調査総合センター研究資料集, 616.
- 経済産業省資源エネルギー庁 (2023) 文献調査段階の評価の考え方.
- 菊池 徹, 渡辺芳次 (1954) 北海道積丹半島西南部の銅・鉛・亜鉛・硫化鉄マンガン鉱床地質調査報告, 地質調査所月報, 5, 1, pp. 1–12.
- 金原啓司, 阪口圭一 (1989) 日本の主要地熱地域の地質と温泉・変質帯分布, 地質調査所報告, 270.
- 気象庁 a : 日本活火山総覧 (第 4 版) Web 掲載版, https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/souran/menu_jma_hp.html, 2022 年 5 月 11 日閲覧.
- 気象庁 b : 地震月報 (カタログ編), <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/bulletin/index.html>, 2023 年 10 月 20 日閲覧.
- Kita, S., Nakajima, J., Hasegawa, A., Okada, T., Katsumata, K., Asano, Y., Kimura, T. (2014) Detailed seismic attenuation structure beneath Hokkaido, northeastern Japan: Arc-arc collision process, arc magmatism, and seismotectonics, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119, pp. 6486–6511.
- 国土地理院 : 地理院タイル, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>, 2023 年 5 月 11 日閲覧.

- 国土交通省：国土数値情報（行政区域データ第3.1版），https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_1.html，2023年8月18日閲覧。
- 小松 亮，梅田浩司（1999）日本列島における温泉・熱水変質帯について，サイクル機構技報，4，pp. 121–128.
- 草野友宏，浅森浩一，梅田浩司（2012）日本列島における地下水・温泉ガスのヘリウム同位体比データベースの作成，JAEA-Data/Code 2012-017，日本原子力研究開発機構。
- Lee, C., Wada, I. (2017) Clustering of arc volcanoes caused by temperature perturbations in the back-arc mantle, *Nature Communications*, 8, 15753, doi: 10.1038/ncomms15753.
- Lee, C., Wada, I. (2021) Volcano clustering promoted by the cessation of back-arc spreading and ensuing nascent lithospheric drips, *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091433, doi: 10.1029/2020GL091433.
- Matsubara, M., Sato, H., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T. (2017) Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, *Journal of Disaster Research*, 12, 5, pp. 844–857.
- Matsubara, M., Sato, H., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., Takahashi, N., Suzuki, K., Kamiya, S. (2019) Seismic velocity structure in and around the Japanese Island arc derived from seismic tomography including NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, *Seismic Waves—Probing Earth System*, doi: 10.5772/intechopen.86936.
- Matsubara, M., Ishiyama, T., No, T., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., Takahashi, N., Kamiya, S. (2022) Seismic velocity structure along the Sea of Japan with large events derived from seismic tomography for whole Japanese Islands including reflection survey data and NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, *Earth, Planets and Space*, 74, 171, doi: 10.1186/s40623-022-01724-0.
- 松波武雄，秋田藤夫，高見雅三，若浜 洋，岡崎紀俊（1991）北海道地熱・温泉ボーリング井データ集 ～1990，北海道立地下資源調査所。
- 松波武雄（1992）北海道の高濃度塩化物泉について，地下資源調査所報告，64，pp. 17–30.
- 松波武雄（1995）北海道の海岸地域に分布する高濃度塩水について，地下資源調査所報告，67，pp. 41–58.
- 松波武雄，鈴木豊重，藤本和徳，秋田藤夫，若浜 洋（1996）北海道地熱・温泉ボーリング井データ集 1991～1995，北海道立地下資源調査所。
- 松波武雄，鈴木隆広（1997）道内温泉水等の水素・酸素同位体比，地下資源調査所報告，68，pp. 149–152.
- 三浦大助，土志田 潔，幡谷竜太，阿部信太郎（2006）活火山の火口移動に関する検討—電力重要構造物の立地に関わる基本的留意点—，電力中央研究所報告，N05024.
- 森川徳敏，角森史昭，風早康平，松本則夫（2019）ヘリウム同位体を用いた地殻流体計測，地学雑誌，128，5，pp. 785–795.
- Morishige, M., van Keken, P. E. (2014) Along-arc variation in the 3-D thermal structure around the junction between the Japan and Kurile arcs, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15, pp. 2225–2240.
- Morishige, M. (2015) A new regime of slab-mantle coupling at the plate interface and its possible implications for the distribution of volcanoes, *Earth and Planetary Science Letters*, 427, pp. 262–271.

- 本山 功, 丸山俊明 (1998) 中・高緯度北西太平洋地域における新第三紀珪藻・放散虫化石年代尺度：地磁気極性年代尺度 CK92 および CK95 への適合, 地質学雑誌, 104, 3, pp. 171–183.
- 村岡洋文, 阪口圭一, 玉生志郎, 佐々木宗建, 茂野 博, 水垣桂子, 駒澤正夫 (2009) 全国地熱ポテンシャルマップ, 数値地質図, GT-4, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 中川光弘, 丸山裕則, 船山 淳 (1995) 北海道第四紀火山の分布と主成分化学組成の広域変化, 火山, 40, 1, pp. 13–31.
- 中川光弘, 広瀬 亘, 岩崎深雪 (1999) 北海道の 6Ma 以降の火山活動の時空変遷から見た千島弧—東北日本弧会合部のテクトニクス変遷, 月刊地球, 21, 9, pp. 543–548.
- Nakajima, J., Matsuzawa, T., Hasegawa, A. (2001) Three-dimensional structure of Vp, Vs, and Vp/Vs beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 106, pp. 21843–21857.
- Nakajima, J., Hasegawa, A. (2003) Tomographic imaging of seismic velocity structure in and around the Onikobe volcanic area, northeastern Japan: implications for fluid distribution, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 127, 1–2, pp. 1–18.
- Nakajima, J., Hada, S., Hayami, E., Uchida, N., Hasegawa, A., Yoshioka, S., Matsuzawa, T., Umino, N. (2013) Seismic attenuation beneath northeastern Japan: Constraints on mantle dynamics and arc magmatism, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 118, pp. 5838–5855.
- 中島淳一 (2016) プレーートの沈み込みと島弧マグマ活動, 火山, 61, 1, pp. 23–36.
- 中島淳一 (2017) 東北地方の火山周辺の地震波速度・減衰構造：地殻構造と低周波地震・S 波反射面との関係, 地震研究所彙報, 92, pp. 49–62.
- Nakajima, J., Hasegawa, A. (2021) Prevalence of shallow low-frequency earthquakes in the continental crust, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 126, e2020JB021391, doi: 10.1029/2020JB021391.
- 中村浩二 (2006) 1999 年 8 月以前の一元化震源の中の低周波地震, 験震時報, 69, pp. 177–191.
- 中野 俊, 西来邦章, 宝田晋治, 星住英夫, 石塚吉浩, 伊藤順一, 川辺禎久, 及川輝樹, 古川竜太, 下司信夫, 石塚 治, 山元孝広, 岸本清行編 (2013) 日本の火山 (第 3 版), 200 万分の 1 地質編集図, 11, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 成田英吉, 矢島淳吉, 太田英順, 渡辺 寧, 羽坂俊一, 羽坂なな子, 平野英雄, 須藤定久 (1996) 鉱物資源図 北海道 (東部・西部), 鉱物資源図, 1, 地質調査所.
- 根本忠寛 (1942) 余別岳圖幅説明書, 北海道工業試験場地質調査報告, 7.
- 根本忠寛, 対馬坤六, 上島 宏 (1955) 5 万分の 1 地質図幅「古平 (附 幌武意)」及び説明書「古平および幌武意」, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 9, 2 号, 北海道開発庁.
- 日本水路協会 (2008) 海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ M7009 Ver.2.0 北海道西部.
- 西来邦章, 伊藤順一, 上野龍之編 (2012) 第四紀火山岩体・貫入岩体データベース, 地質調査総合センター速報, 60, <https://unit.aist.go.jp/ievg/dger/db/QVDB/>, 2022 年 5 月 11 日閲覧.
- Niu, X., Zhao, D., Li, J., Ruan, A. (2016) P wave azimuthal and radial anisotropy of the Hokkaido subduction zone, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 121, pp. 2636–2660.
- 野上道男 (2003) 北海道とその周辺の大地形, 小疇 尚, 野上道男, 小野有五, 平川一臣編：日本の地形 2 北海道, 東京大学出版会, pp. 3–11.
- 能條 歩, 長谷川四郎, 岡田尚武, 都郷義寛, 鈴木明彦, 松田敏孝 (1999) 西南北海道瀬棚層の広

- 域的岩相層序区分と生層序年代, 地質学雑誌, 105, 5, pp. 370–388.
- 大場与志男 (1960) ニセコ火山群の岩石について, 地質学雑誌, 66, 783, pp. 788–799.
- Oka, D., Tamura, M., Mogi, T., Nakagawa, M., Takahashi, H., Ohzono, M., Ichiyangi, M. (2023) Conceptual model of supercritical geothermal system in Shiribeshi Region, Hokkaido, Japan, *Geothermics*, 108, 102617, doi: 10.1016/j.geothermics.2022.102617.
- 岡村 聡, 石井次郎, 渡辺 寧 (1989) 日本海北東縁, 二子海丘から採取された火山岩片と K-Ar 年代, 岩鉱, 83, 1, pp. 32–36.
- 岡村行信, 佐藤太一 (2023) 積丹半島付近海底地質図, 海洋地質図, 94, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 大久保泰邦 (1984) 全国のキュリー点解析結果, 地質ニュース, 362, pp. 12–17, 地質調査所.
- Okubo, Y., Tsu, H., Ogawa, K. (1989) Estimation of Curie point temperature and geothermal structure of island arcs of Japan, *Tectonophysics*, 159, 3-4, pp. 279–290.
- 大久保泰邦 (1993) 日本列島の温度勾配図, 日本地熱学会誌, 15, 1, pp. 1–21.
- 大久保泰邦, 秋田藤夫, 田中明子 (1997) 北海道の温度勾配図とシミュレーション, 地質ニュース, 517, pp. 24–29, 地質調査所.
- 大久保泰邦, 秋田藤夫, 田中明子 (1998) 地温勾配図作成と地下温度構造を求める試み—北海道の例—, 日本地熱学会誌, 20, 1, pp. 15–29.
- Omuralieva, M. A., Hasegawa, A., Matsuzawa, T., Nakajima, J., Okada, T. (2012) Lateral variation of the cutoff depth of shallow earthquakes beneath the Japan Islands and its implications for seismogenesis, *Tectonophysics*, 518-521, pp. 93–105.
- 大槻憲二郎 (1989) 鉦脈による新第三紀東北本州弧の造構応力場復元, 地質学論集, 32, pp. 281–304.
- 嵯峨山 積 (2002) 北海道利尻島および積丹半島の新第三系の地質年代と対比, 北海道立地質研究所報告, 73, pp. 99–106.
- 斎藤正雄, 五十嵐昭明, 番場猛夫, 沢 俊明, 山田敬一, 成田英吉 (1963) 北海道金属非金属鉦床総覧 I. 新第三紀後期-第四紀の鉦化作用, 地質調査所.
- 斎藤正次, 上村不二雄, 大沢 穠 (1952) 5万分の1地質図幅「茅沼」及び説明書, 5万分の1地質図, 札幌-第18号, 北海道開発庁.
- 斎藤昌之, 松下 亘 (1968) 特定鉦床開発促進調査 積丹半島地域, 北海道開発計画調査 鉦業開発計画調査, 北海道開発庁.
- 坂川幸洋, 梅田浩司, 鈴木元孝, 梶原竜哉, 内田洋平 (2004) 日本の坑井温度プロファイルデータベース, 地震 第2輯, 57, 1, pp. 63–67.
- Sakamoto, M., Sano, Y., Wakita, H. (1992) $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio distribution in and around the Hakone volcano, *Geochemical Journal*, 26, 4, pp. 189–195.
- 酒匂純俊, 和気 徹, 早川福利, 二間瀬 洌, 横山英二, 松波武雄, 斎藤尚志, 内田 豊 (1977) 北海道の地熱・温泉 (B) 西南北海道北部, 地下資源調査所調査研究報告, 4.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2005) 日本温泉・鉦泉分布図及び一覧 (第2版) CD-ROM 版, 数値地質図, GT-2.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センターa : 第四紀火山, https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/index.html, 2023年9月27日閲覧.

- 産業技術総合研究所地質調査総合センターb：日本の火山データベース 1 万年噴火イベントデータ
集 (ver. 2.5) 活火山分布図, <https://gbank.gsj.jp/volcano/cgi-bin/map.cgi>, 2023年6月15日閲覧.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センターc：地熱情報データベース (GRES-DB), <https://gbank.gsj.jp/gres-db/>, 2022年5月11日閲覧.
- 産業技術総合研究所深部地質環境研究センター編 (2007) 概要調査の調査・評価項目に関する技術
資料—長期変動と地質環境の科学的知見と調査の進め方—, 地質調査総合センター研究資料集,
459.
- 産業技術総合研究所深部地質環境研究コア編 (2012) 概要調査の調査評価項目に関する技術資料—
立地要件への適合性とその根拠となる調査結果の妥当性—, 地質調査総合センター研究資料集,
560.
- Sano, Y., Wakita, H. (1985) Geographical distribution of $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in Japan: Implications for arc
tectonics and incipient magmatism, *Journal of Geophysical Research*, 90, B10, pp. 8729–8741.
- Sano, Y., Nakajima, J. (2008) Geographical distribution of $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios and seismic tomography in
Japan, *Geochemical Journal*, 42, 1, pp. 51–60.
- Shiina, T., Takahashi, H., Okada, T., Matsuzawa, T. (2018) Implications of seismic velocity structure
at the junction of Kuril-northeastern Japan arcs on active shallow seismicity and deep low-freque
ncy earthquakes, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, pp. 8732–8747.
- 下鶴大輔, 荒牧重雄, 井田喜明, 中田節也編 (2008) 火山の事典 (第2版), 朝倉書店.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2021) 2018年度～2020年度成果報告書 超臨界地熱発電技
術研究開発/超臨界地熱資源の評価と調査井仕様の詳細設計/東日本・九州地域における超臨界地
熱資源有望地域の調査と抽熱可能量の推定.
- 新エネルギー総合開発機構 (1987) 全国地熱資源総合調査 (第2次) 火山性熱水対流系地域タイプ
①ニセコ地域火山地質図及び地熱地質編図.
- 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術 WG (2017) 地層
処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果 (地層処分技術 WG とりま
とめ) .
- 鈴木隆介 (2012) 建設技術者のための地形図読図入門 第4巻 火山・変動地形と応用読図 改訂版,
古今書院.
- 鈴木豊重, 川森博史, 高橋徹哉, 大津 直, 鈴木隆広, 藤本和徳編 (1995) 北海道市町村の地熱・
温泉ボーリング—地域エネルギー開発利用施設整備事業— (昭和55年度～平成5年度), 北海道
立地下資源調査所.
- 高橋雅紀 (2017) 東西日本の地質学的境界【第七話】火山フロントのずれ, *GSJ 地質ニュース*, 6,
5, pp. 149–157, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 高見雅三, 鈴木隆広, 高橋徹哉, 柴田智郎, 小澤 聡, 藤本和徳, 秋田藤夫 (2008) 北海道地熱・
温泉ボーリング井データ集および索引図 (統合版), 北海道立地質研究所.
- 玉生志郎, 松波武雄, 金原啓司, 川村政和, 駒澤正夫, 高橋正明, 阪口圭一 (2001) 50万分の1札
幌地熱資源図及び同説明書, 特殊地質図, 31-4, 地質調査所.
- Tamura, M., Oka, D., Okazaki, N., Suzuki, K., Hashimoto, T., Mogi, T. (2022) Magnetotelluric surve
y and three-dimensional resistivity structure in and around the Niseko area, southwestern Hokkaido,
Geothermics, 105, 102496, doi: 10.1016/j.geothermics.2022.102496.

- Tamura, Y., Tatsumi, Y., Zhao, D., Kido, Y., Shukuno, H. (2002) Hot fingers in the mantle wedge: new insights into magma genesis in subduction zones, *Earth and Planetary Science Letters*, 197, pp. 105–116.
- 田中明子, 大久保泰邦, 松林 修 (1997) 東・東南アジア地域のキュリー点深度解析, *地震* 第2輯, 50, pp. 183–194.
- 田中明子, 矢野雄策, 笹田政克, 大久保泰邦, 梅田浩司, 中司 昇, 秋田藤夫 (1999) 坑井の温度データによる日本の地温勾配値のコンパイル, *地質調査所月報*, 50, 7, pp. 457–487.
- Tanaka, A., Yamano, M., Yano, Y., Sasada, M. (2004) Geothermal gradient and heat flow data in and around Japan (I): Appraisal of heat flow from geothermal gradient data, *Earth, Planets and Space*, 56, pp. 1191–1194.
- 田中明子, 山野 誠, 矢野雄策, 笹田政克 (2004) 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース, 数値地質図, P-5, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 田中明子 (2009) 地球浅部の温度構造—地震発生層との関連—, *地震* 第2輯, 61, 特集号, pp. s239–s245.
- 田中明子, 濱元栄起, 山野 誠, 後藤秀作 (2019) 日本列島及びその周辺域の熱データベース, https://www.gsj.jp/Map/JP/docs/jm100_doc/jm_geothermal-db.html, 2022年5月11日閲覧.
- Terakawa, T., Matsu'ura, M. (2010) The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, *Tectonics*, 29, TC6008, doi: 10.1029/2009TC002626.
- Tsuchiya, N., Ishii, J., Yamazaki, T., Shuto, K. (1989) A newly discovered Quaternary volcano from northeast Japan Sea : K-Ar age of andesite dredged from the Shiribeshi Seamount, *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, 84, 11, pp. 391–397.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (1985) 昭和 59 年度 広域調査報告書 積丹地域.
- Uchide, T., Shiina, T., Imanishi, K. (2022) Stress map of Japan: Detailed nationwide crustal stress field inferred from focal mechanism solutions of numerous microearthquakes, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127, e2022JB024036, doi: 10.1029/2022JB024036.
- 梅田浩司, 小松 亮, 中司 昇 (1999) 坑井データによる地下温度構造の推定, *サイクル機構技報*, 2, pp. 29–36.
- Umeda, K., Asamori, K., Negi, T., Ogawa, Y. (2006) Magnetotelluric imaging of crustal magma storage beneath the Mesozoic crystalline mountains in a nonvolcanic region, northeast Japan, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7, 8, Q08005, doi: 10.1029/2006GC001247.
- Umeda, K., Asamori, K., Ninomiya, A., Kanazawa, S., Oikawa, T. (2007) Multiple lines of evidence for crustal magma storage beneath the Mesozoic crystalline Iide Mountains, northeast Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112, B05207, doi: 10.1029/2006JB004590.
- Umeda, K. (2009) An Integrated Approach for Detecting Latent Magmatic Activity beneath Non-volcanic Regions: An Example from the Crystalline Iide Mountains, Northeast Japan, *Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline Rock*, NEA No. 6362, pp. 289–301, OECD Publishing.
- Wada, I., He, J., Hasegawa, A., Nakajima, J. (2015) Mantle wedge flow pattern and thermal structure in Northeast Japan: Effects of oblique subduction and 3-D slab geometry, *Earth and Planetary Science Letters*, 426, pp. 76–88.

- 若浜 洋, 秋田藤夫, 松波武雄 (1995) 北海道地温勾配図及び説明書, 60 万分の 1 地質図, 北海道立地下資源調査所.
- Wang, Z., Zhao, D., Liu, X., Chen, C., Li, X. (2017) P and S wave attenuation tomography of the Japan subduction zone, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18, pp. 1688–1710.
- Wang, Z., Zhao, D. (2019) Updated attenuation tomography of Japan subduction zone, *Geophysical Journal International*, 219, pp. 1679–1697.
- Wang, Z., Zhao, D. (2005) Seismic imaging of the entire arc of Tohoku and Hokkaido in Japan using P-wave, S-wave and sP depth-phase data, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 152, pp. 144–162.
- 渡辺 寧 (1986) 鉾脈の方向から推定された広域応力場—北海道における中期中新世以降の鉾脈の例—, *鉾山地質*, 36, 3, pp. 209–218.
- Watanabe, Y. (1990) Pliocene to Pleistocene volcanism and related vein-type mineralization in Sapporo-Iwanai district, Southwest Hokkaido, Japan, *Mining Geology*, 40, 5, pp. 289–298.
- 渡辺 寧 (1993a) 岩脈・火口配列に基づく西南北海道北部の新生代後期の応力場, *地質学雑誌*, 99, 2, pp. 105–116.
- 渡辺 寧 (1993b) 西南北海道北部の火山列—ニセコ-羊蹄火山列はなぜ曲がったのか?—, 石井次郎教授追悼論文集, pp. 147–154.
- 渡辺 寧 (2000) 札幌-岩内地域マグマ-鉾化熱水系分布図, 特殊地質図, 38, 地質調査所.
- Watanabe, Y. (2002) Late Cenozoic metallogeny of Southwest Hokkaido, Japan, *Resource Geology*, 52, 3, pp. 191–210.
- 山岸宏光, 石井正之 (1979) 5 万分の 1 地質図幅「余別および積丹岬」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 8, 1 号, 北海道立地下資源調査所.
- 山岸宏光, 積丹団研グループ (1979) 積丹半島西南部の地質と火成活動—とくに, 層序とハイアロクラスタイトについて—, *地質学論集*, 16, pp. 195–212.
- 山岸宏光 (1980) 5 万分の 1 地質図幅「神恵内」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 17 号, 北海道立地下資源調査所.
- Yamagishi, H. (1981) Geology of the Shakotan Peninsula, Hokkaido, Japan, *Report of the Geological Survey of Hokkaido*, 52, pp. 1–29.
- 山岸宏光, 渡辺 寧 (1986) 西南北海道における新生代後期の応力場の変遷—地質断層, 岩脈, 鉾脈および活断層の検討—, *北海道の地質と構造運動*, 地団研専報, 31, pp. 321–331.
- Yanagisawa, Y., Akiba, F. (1998) Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons, *The Journal of the Geological Society of Japan*, 104, 6, pp. 395–414.
- 横山 光, 八幡正弘, 岡村 聡, 西戸裕嗣 (2003) 西南北海道, 赤井川カルデラの火山層序とカルデラ形成史, *岩石鉾物科学*, 32, pp. 80–95.
- 米倉伸之, 加藤 茂, 長岡正利 (2001) 日本列島とその周辺の地形区分, 米倉伸之, 貝塚爽平, 野上道男, 鎮西清高編: 日本の地形 1 総説, 東京大学出版会.
- Yoo, S., Lee, C. (2020) Correlation of Quaternary volcano clusters with partial melting of mantle wedge, Northeast Japan: A numerical model study, *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL086205, doi: 10.1029/2019GL086205.

添付資料 A 情報を抽出した文献・データのリスト

北海道古宇郡神恵内村の文献調査において、噴火に関する情報を抽出した文献・データは、以下に示す 334 件であった。

- A**
Abdelwahed, M. F., Zhao, D. (2007) Deep structure of the Japan subduction zone, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 162, pp. 32–52.
秋田藤夫 (2014) 北海道における地熱開発調査の現状と課題, 第 52 回試錐研究会講演資料集, pp. 13–21, 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所.
浅森浩一, 石丸恒存, 岩月輝希 (2002) 日本列島における火山周辺の酸性地下水分布, サイクル機構技報, 15, pp. 103–111.
浅森浩一, 梅田浩司, 石丸恒存, 小松 亮 (2003) 温泉地化学データベースの作成, JNC TN7450 2002-003, 核燃料サイクル開発機構.
Asamori, K., Zhao, D. (2015) Teleseismic shear wave tomography of the Japan subduction zone, *Geophysical Journal International*, 203, pp. 1752–1772.
- B**
防災科学技術研究所: F-net 広帯域地震観測網, <https://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=ja>, 2023 年 9 月 11 日閲覧.
防災科学技術研究所: Hi-net 高感度地震観測網, <https://www.hinet.bosai.go.jp/?LANG=ja>, 2022 年 5 月 11 日閲覧.
防災科学技術研究所: 日本列島下の三次元地震波速度構造 (海域拡大 2019 年版), https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/, 2022 年 5 月 24 日閲覧.
- C**
地学団体研究会札幌支部 (1960) 北海道地域の新第三紀構造発達史, *地球科学*, 52, pp. 30–36.
地質調査所編 (1992) 日本地質アトラス (第 2 版), 朝倉書店.
地質調査所燃料部石油課 (1959) 油徴とはどんなものか (2), *地質ニュース*, 58, pp. 9–13.
地質調査所燃料部石油課 (1961) 日本北部の天然ガス, *地質ニュース*, 83, pp. 7–11.
- D**
第四紀火山カタログ委員会編 (1999) 日本の第四紀火山カタログ, 日本火山学会.
土居繁雄, 長谷川 潔 (1956) 5 万分の 1 地質図幅「倶知安」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 28 号, 北海道開発庁.
- E**
江原幸雄, 西田直樹, 横山 泉 (1970) 北海道における地殻熱流量の測定 (その 1), 北海道大学地球物理学研究報告, 24, pp. 125–139.
江原幸雄, 横山 泉 (1971) 北海道における地殻熱流量の測定 (その 2), 北海道大学地球物理学研究報告, 26, pp. 67–84.
- F**
藤林紀枝, 渡辺 寧, 加々美寛雄, 川野良信 (1995) 東北日本弧北端, 積丹半島-支笏湖地域における中新世後期～鮮新世火山岩類の化学組成の時空変遷, *地質学論集*, 44, pp. 181–195.
藤本和徳, 竹林 勇, 鈴木豊重 (1979) 神恵内村温泉試すい調査報告, 地下資源調査所報告, 51, pp. 63–72.
藤本和徳 (1995) 道内市町村の地熱・温泉ボーリング, 第 33 回試錐研究会講演資料集, pp. 55–65, 北海道立地下資源調査所.
藤本和徳, 高橋徹哉, 鈴木隆広編 (2004) 北海道市町村の地熱・温泉ボーリングデータ集, 北海道立地質研究所.
二間瀬 洵, 松波武雄 (1985) 北海道の地熱・温泉-1985 年・I 版- (A) 西南北海道中南部 (1975 年～1983 年) (B) 西南北海道北部 (1976 年～1983 年), 地下資源調査所調査研究報告, 15.
- G**
雁沢好博 (1983) フィッション・トラック法によるグリーン・タフ変動の年代区分 その 2—富山県太美山地域—, *地質学雑誌*, 89, 5, pp. 271–286.
- H**
長谷川 昭, 中島淳一, 海野徳仁, 三浦 哲, 諏訪謡子 (2004) 東北日本弧における地殻の変形と内陸地震の発生様式, *地震* 第 2 輯, 56, 4, pp. 413–424.
Hasegawa, A., Nakajima, J., Uchida, N., Okada, T., Zhao, D., Matsuzawa, T., Umino, N. (2009) Plate subduction, and generation of earthquakes and magmas in Japan as inferred from seismic observations: An overview, *Gondwana Research*, 16, pp. 370–400.
長谷川 昭, 中島淳一, 内田直希, 梁田高広, 岡田知己, 趙 大鵬, 松澤 暢, 海野徳仁 (2012) 沈み込み帯の地震の発生機構—地殻流体に規定されて発生する沈み込み帯の地震—, *地学雑誌*, 121, 1, pp. 128–160.
長谷川 昭, 中島淳一 (2022) 陸域下の低周波地震とその地震学のおよびテクトニクスの意義, *地学雑誌*, 131, 3, pp. 289–315.

- 長谷川 潔, 寺島克文, 黒沢邦彦 (1983) 北海道の地質と資源 III 北海道の金属鉱物資源, 北海道立地下資源調査所.
- Hasegawa, K. (1992) Neogene mineralization in the Kunitomi-Jozankei-Chitose area, Hokkaido, Japan, Report of the Geological Survey of Hokkaido, 63, pp. 137-162.
- 橋本 亘, 石川俊夫, 船橋三男, 齊藤昌之, 長尾捨一編 (1958) 20 万分の 1 北海道地質図 (1~6) 説明書, 20 万分の 1 地質図, 北海道立地下資源調査所.
- 早川福利, 酒匂純俊, 和気 徹, 二間瀬 洌, 齊藤尚志, 松波武雄 (1983) 北海道の地質と資源 II 北海道の地熱温泉資源, 北海道立地下資源調査所.
- 早坂一郎, 鈴木 醇, 原田準平, 佐々保雄, 石川俊夫, 根本忠寛, 小林 勇, 沼辺武堤, 大島正夫, 斎藤 仁, 長尾捨一, 矢部伊太郎, 橋本 亘編 (1953) 二十万分の 1 北海道地質図 (1) 西部, 20 万分の 1 地質図, 北海道立地下資源調査所.
- 林 圭一, 大津 直, 垣原康之, 鈴木隆広 (2018) 赤井川村南東部に分布する中新統の層序と地質年代に関する新知見, 北海道地質研究所報告, 90, pp. 1-14.
- 広川 治, 村山正郎 (1955) 5 万分の 1 地質図幅「岩内」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 27 号, 地質調査所.
- 廣瀬 遥, 岡村 聡 (2017) 積丹半島沼前岬の塩基性貫入岩体, 北海道教育大学紀要, 自然科学編, 67, 2, pp. 23-34.
- 広瀬 亘, 岩崎深雪, 中川光弘 (2000) 北海道中央部~西部の新第三紀火成活動の変遷: K-Ar 年代, 火山活動様式および全岩化学組成から見た東北日本弧北端の島弧火成活動の変遷, 地質学雑誌, 106, 2, pp. 120-135.
- 広田知保, 和田信彦, 横山英二, 菅 和哉 (1985) 北海道水理地質図「倶知安」及び説明書, 北海道水理地質図幅, 7, 北海道立地下資源調査所.
- 北海道電力 (2013) 泊発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書 (1 号及び 2 号発電用原子炉施設の変更) .
- 北海道電力 (2015) 泊発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書 (3 号発電用原子炉施設の変更) .
- 北海道電力: 北海道電力株式会社 泊発電所 (3 号炉) 関連審査会合.
- 北海道電力: 北海道電力株式会社 泊発電所 (1・2 号炉) 関連審査会合.
- 北海道立地下資源調査所広報紙編集委員会編 (1989) 地域エネルギーが身近に—昭和 63 年度地域エネルギー開発振興事業成果—, 地下資源調査所ニュース, 5, 4, p. 2.
- 北海道立地下資源調査所広報紙編集委員会編 (1989) 北海道の自然公園めぐり, その 1—ニセコ積丹小樽海岸国立公園—, 地下資源調査所ニュース, 5, 3, pp. 2-3.
- 北海道立地下資源調査所広報紙編集委員会編 (1991) 地域エネルギー調査盛ん—平成 2 年度 市町村振興補助による地熱利用成果—, 地下資源調査所ニュース, 7, 3, p. 3.
- 北海道立地質研究所広報委員会編 (2003) 活火山定義見直し—新たに利尻山・羊蹄山・ニセコなど—, 地質研究所ニュース, 19, 2.
- 北海道立地質研究所広報委員会編 (2009) ニセコ地域での温泉調査—持続可能な温泉利用をめざして, 地質研究所ニュース, 25, 1, p. 2.
- 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所広報委員会編 (2012) ニセコ山麓の温泉の生い立ちをさぐる, 地質研究所ニュース, 28, 2.
- Honda, S., Yoshida, T. (2005) Application of the model of small-scale convection under the island arc to the NE Honshu subduction zone, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6, 1, Q01002, doi: 10.1029/2004GC000785.
- Honda, S., Yoshida, T., Aoike, K. (2007) Spatial and temporal evolution of arc volcanism in the northeast Honshu and Izu-Bonin Arcs: Evidence of small-scale convection under the island arc?, *Island Arc*, 16, pp. 214-223.
- Hua, Y., Zhao, D., Xu, Y., Wang, Z. (2019) Arc-arc collision caused the 2018 Eastern Iburi earthquake (M 6.7) in Hokkaido, Japan, *Scientific Reports*, 9:13914, doi: 10.1038/s41598-019-50305-x.
- I
- 五十嵐昭明, 横田節哉 (1970) 北海道ニセコ火山東部地域の第四紀鉱化作用, 地質調査所月報, 21, 6, pp. 361-385.
- 五十嵐昭明, 古川雄也, 菅原一安, 西村 進, 岡部賢二 (1978) 北海道札幌市豊羽地熱地域の熱水変質帯, 地質調査所報告, 259, pp. 9-42.
- 猪木幸男, 垣見俊弘 (1954) 5 万分の 1 地質図幅「小樽西部」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 10 号, 北海道開発庁.
- Iinuma, T., Kato, T., Hori, M. (2005) Inversion of GPS velocity and seismicity data to yield changes in stress in the Japanese Islands, *Geophysical Journal International*, 160, 2, pp. 417-434.
- Imai, I., Issiki, N., Nozawa, T., Tanaka, K., Yamada, N., Yoshida, T. (1982) Geological map of Japan, 1:5,000,000 (Fourth edition), Geological Survey of Japan.
- 今井 登, 寺島 滋, 太田充恒, 御子柴 (氏家) 真澄, 岡井貴司, 立花好子, 富樫茂子, 松久幸敬, 金井 豊, 上岡 晃, 谷口政碩 (2004) 日本の地球化学図, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 今井 登, 寺島 滋, 太田充恒, 御子柴 (氏家) 真澄, 岡井貴司, 立花好子, 池原 研, 片山 肇, 野田 篤, 富樫茂子, 松久幸敬, 金井 豊, 上岡 晃 (2010) 海と陸の地球化学図, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 石田正夫, 秦 光男 (1986) 50 万分の 1 地質図「札幌」, 50 万分の 1 地質図幅, 4, 地質調査所.

- 石田正夫, 三村弘二, 広島俊男 (1991) 20 万分の 1 地質図幅「岩内 (第 2 版)」, 20 万分の 1 地質図, 地質調査所.
- 石原舜三, 佐々木 昭, 佐藤興平 (1992) 日本鉱床生成図 深成岩活動と鉱化作用 (3) 第三紀-第四紀, 200 万分の 1 地質編集図, 15-3, 地質調査所.
- 石原舜三, 笠原裕子, 松枝大治 (1998) 北海道南西部における新第三紀花崗岩類の発見, 地質調査所月報, 49, 9, pp. 461-467.
- 石井次郎, 守屋 洋, 岡村 聡, 国分公貴, 山谷 潤 (1990) 北海道積丹半島沖二子海丘西峰から採取された火山岩円礫 (予報), 北海道東海大学紀要理工学系, 3, pp. 13-20.
- 磯見 博 (1968) 日本地質構造図, 200 万分の 1 地質編集図, 12, 地質調査所.
- 泉 紀明, 西澤あずさ, 堀内大嗣, 木戸ゆかり, 中田 高, 後藤秀昭, 渡辺満久, 鈴木康弘 (2014) 3 秒グリッド DEM から作成した日本海東縁部の 3D 海底地形, 海洋情報部研究報告, 51, pp. 127-143.
- J**
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会編 (2009) 日本の地震活動—被害地震から見た地域別の特徴—<第 2 版>, 地震予知総合研究振興会地震調査研究センター.
- K**
- 梶島太郎, 荒井英一, 細井義孝 (2000) 空中磁気・放射能データを用いた北海道南部地域における金属鉱床有望地区の抽出, 資源地質, 50, 1, pp. 11-22.
- 海上保安庁 (1996) 20 万分の 1 海底地形図「日本北海道西岸石狩湾西方」, 第 6657 号.
- 海上保安庁水路部 (1979) 沿岸の海の基本図 (5 万分の 1) 神威岬, 海図, 第 6324 号³.
- 海上保安庁水路部 (1995) 沿岸の海の基本図 (5 万分の 1) 寿都, 海図, 第 6325 号¹⁻⁵.
- 鎌谷紀子, 勝間田明男 (2004) 火山から離れた地域で発生している深部低周波微動・地震—その分布と発生原因—, 地震 第 2 輯, 57, pp. 11-28.
- 環境省: 再生可能エネルギー情報提供システム, <https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/index.html?msclkid=7b06bf8fcf7b11ec854afd71371b3b91>, 2022 年 5 月 13 日閲覧.
- 鹿野和彦, 山岸宏光, 宇井忠英, 小野晃司, 星住英夫, 巖谷敏光, 中野 俊, 山元孝広, 宇都浩三, 川辺禎久, 曾屋龍典, 湯浅真人編 (2000) 日本の新生代火山岩の分布と産状 Ver.1.0, 数値地質図, G-4, 地質調査所.
- 鹿野和彦, 栗本史雄, 巖谷敏光, 星住英夫, 松浦浩久, 牧本 博 (2002) 日本地質図第 5 版, 200 万分の 1 地質編集図, 4, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 帷子二郎 (1926) 北海道赤井川カルデラに就て (上), 地理学評論, 2, 11, pp. 899-924.
- 帷子二郎 (1926) 北海道赤井川カルデラに就て (下), 地理学評論, 2, 12, pp. 1064-1092.
- 片山 肇, 井内美郎, 池原 研 (2012) 積丹半島付近表層堆積図, 海洋地質図, 76 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Katsumata, A. (2010) Depth of the Moho discontinuity beneath the Japanese islands estimated by traveltimes analysis, Journal of Geophysical Research, 115, B04303, doi: 10.1029/2008JB005864.
- 勝俣 啓 (2005) 北海道地方の地殻内地震分布の上限・下限, 北海道大学地球物理学研究報告, 68, pp. 153-159.
- 川村政和 (1998) 北海道ニセコ地域山麓における河川源流の水温とアニオン濃度分布の地域的特徴について, 地質調査所月報, 49, 8, pp. 413-424.
- 河田 英, 中村定男, 内田 豊, 竹林 勇, 鈴木豊重 (1966) 泊村盃・茂岩温泉のボーリング, 地下資源調査所報告, 36, pp. 49-59.
- 風早康平, 高橋正明, 切田 司, 内藤一樹, 渡部芳夫 (2015) 日本列島におけるスラブ起源水の上昇地域の分布図, 地質調査総合センター研究資料集, 616.
- 経済企画庁 (1967) 50 万分の 1 土地分類図 (表層地質図 I) 北海道地方, 50 万分の 1 土地分類基本調査, 経済企画庁.
- 菊池 徹, 渡辺芳次 (1954) 北海道積丹半島西南部の銅・鉛・亜鉛・硫化鉄マンガン鉱床地質調査報告, 地質調査所月報, 5, 1, pp. 1-12.
- 金原啓司, 阪口圭一 (1989) 日本の主要地熱地域の地質と温泉・変質帯分布, 地質調査所報告, 270.
- 気象庁: 地震月報 (カタログ編), <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/bulletin/index.html>, 2023 年 5 月 18 日閲覧.
- 気象庁: 震源リスト, https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/daily_map/index.html, 2022 年 5 月 11 日閲覧.
- 気象庁: 日本活火山総覧 (第 4 版) Web 掲載版, https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/souran/menu_jma_hp.html, 2022 年 5 月 11 日閲覧.
- 気象庁: 発震機構解 (精査後), <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/mech/index.html>, 2023 年 5 月 15 日閲覧.
- Kita, S., Hasegawa, A., Nakajima, J., Okada, T., Matsuzawa, T., Katsumata, K. (2012) High-resolution seismic velocity structure beneath the Hokkaido corner, northern Japan: Arc-arc collision and origins of the 1970 M 6.7 Hidaka and 1982 M 7.1 Urakawa-oki earthquakes, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 117, B12301, doi: 10.1029/2012JB009356.
- Kita, S., Nakajima, J., Hasegawa, A., Okada, T., Katsumata, K., Asano, Y., Kimura, T. (2014) Detailed seismic attenuation structure beneath Hokkaido, northeastern Japan: Arc-arc collision process, arc magmatism, and seismotectonics, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 119, pp. 6486-6511.
- 小疇 尚, 野上道男, 小野有五, 平川一臣編 (2003) 日本の地形 2 北海道, 東京大学出版会.

児玉 浩, 宇井忠英 (1996) イワオヌブリ火山, ニトヌブリ火山, チセヌブリ火山における火山地質学的, 岩石学的研究, 日本火山学会講演予稿集, B6.

国土地理院 (1997) 日本の地殻水平歪図, <https://www.gsi.go.jp/cais/HIZUMI-hizumi.html>, 2023年9月25日閲覧.

国土地理院: 日本列島の地殻変動, <https://www.gsi.go.jp/kanashi/>, 2022年5月24日閲覧.

小松 亮, 梅田浩司 (1999) 日本列島における温泉・熱水変質帯について, サイクル機構技報, 4, pp. 121–128.

駒澤正夫, 広島俊男, 村田泰章, 牧野雅彦, 森尻理恵 (1998) 札幌地域重力図 (ブーゲー異常), 重力図, 10, 地質調査所.

駒澤正夫, 広島俊男, 石原文実, 村田泰章, 山崎俊嗣, 上嶋正人, 牧野雅彦, 森尻理恵, 志知龍一, 岸本清行, 木川栄一 (1999) 日本重力図 (ブーゲー異常), 地質調査所.

小菅正裕, 野呂康平, 増川和真 (2017) 東北日本で発生する深部低周波地震の震源の時空間分布の特徴と地震波形の多様性, 地震研究所彙報, 92, pp. 63–80.

Koulakov, I., Kukarina, E., Fathi, I. H., El Khrepy, S., Al-Arifi, N. (2015) Anisotropic tomography of Hokkaido reveals delamination-induced flow above a subducting slab, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120, pp. 3219–3239.

草野友宏, 浅森浩一, 梅田浩司 (2012) 日本列島における地下水・温泉ガスのヘリウム同位体比データベースの作成, JAEA-Data/Code 2012-017, 日本原子力研究開発機構.

L

Lee, C., Wada, I. (2017) Clustering of arc volcanoes caused by temperature perturbations in the back-arc mantle, *Nature Communications*, 8, 15753, doi: 10.1038/ncomms15753.

Lee, C., Wada, I. (2021) Volcano clustering promoted by the cessation of back-arc spreading and ensuing nascent lithospheric drips, *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091433, doi: 10.1029/2020GL091433.

Liu, X., Zhao, D., Li, S. (2013) Seismic heterogeneity and anisotropy of the southern Kuril arc: insight into megathrust earthquakes, *Geophysical Journal International*, 194, pp. 1069–1090.

Liu, X., Zhao, D. (2016) Seismic velocity azimuthal anisotropy of the Japan subduction zone: Constraints from P and S wave traveltimes, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121, pp. 5086–5115.

Liu, X., Zhao, D. (2017) P-wave anisotropy, mantle wedge flow and olivine fabrics beneath Japan, *Geophysical Journal International*, 210, pp. 1410–1431.

M

町田 洋, 新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラス 日本列島とその周辺, 東京大学出版会.

Maeda, H. (1988) Mineralization ages of the Inakuraishi and Ohe ore deposits, southwestern Hokkaido, Japan, *Mining Geology*, 38, 1, pp. 57–62.

牧野雅彦, 大久保泰邦, 中塚 正 (1992) 日本の磁気図及び説明書, 200万分の1地質編集図, 23, 地質調査所.

丸茂克美, 沢井長雄 (1986) 西南北海道グリーンタフ地域のいくつかの鉱床産変質岩の K-Ar 年代, 鉱山地質, 36, 1, pp. 21–26.

Matsubara, M., Sato, H., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T. (2017) Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, *Journal of Disaster Research*, 12, 5, pp. 844–857.

Matsubara, M., Sato, H., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., Takahashi, N., Suzuki, K., Kamiya, S. (2019) Seismic velocity structure in and around the Japanese Island arc derived from seismic tomography including NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, *Seismic Waves—Probing Earth System*, doi: 10.5772/intechopen.86936.

Matsubara, M., Ishiyama, T., No, T., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., Takahashi, N., Kamiya, S. (2022) Seismic velocity structure along the Sea of Japan with large events derived from seismic tomography for whole Japanese Islands including reflection survey data and NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, *Earth, Planets and Space*, 74, 171, doi: 10.1186/s40623-022-01724-0.

松原 誠, 石山達也, 野 徹夫, 植平賢治, 望月将志, 金澤敏彦, 高橋成実, 神谷眞一郎 (2022) 日本列島下の三次元地震波速度構造 (2022年度版), https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/, 2023年9月25日閲覧.

Matsuda, Y., Yamagishi, H. (1997) The K-Ar dating of the volcanic rocks from the Otaru city area and the significance, Report of the geological survey of Hokkaido, 68, pp. 103–111.

松枝大治, 由井俊三, 赤松和夫 (1994) 西南北海道小樽市赤岩の酸性変質帯と金鉱化作用, 地質ニュース, 480, pp. 44–53, 地質調査所.

松井公平 (1965) 岩内町雷電温泉, 地下資源調査所報告, 34, p. 70.

松波武雄, 秋田藤夫, 高見雅三, 若浜 洋, 岡崎紀俊 (1991) 北海道地熱・温泉ボーリング井データ集 ~1990, 北海道立地下資源調査所.

松波武雄, 秋田藤夫, 高見雅三, 若浜 洋, 岡崎紀俊 (1991) 北海道地熱・温泉ボーリング井索引図 ~1990, 北海道立地下資源調査所.

- 松波武雄 (1992) 北海道の高濃度塩化物泉について, 地下資源調査所報告, 64, pp. 17–30.
- 松波武雄, 高見雅三, 二間瀬 洌 (1994) ニセコ山系北麓岩内周辺の熱水系について, 地下資源調査所報告, 66, pp. 1–26.
- 松波武雄 (1995) 北海道の海岸地域に分布する高濃度塩水について, 地下資源調査所報告, 67, pp. 41–58.
- 松波武雄, 鈴木豊重, 藤本和徳, 秋田藤夫, 若浜 洋 (1996) 北海道地熱・温泉ボーリング井データ集 1991~1995, 北海道立地下資源調査所.
- 松波武雄, 鈴木豊重, 藤本和徳, 秋田藤夫, 若浜 洋 (1996) 北海道地熱・温泉ボーリング井索引図 1991~1995, 北海道立地下資源調査所.
- 松波武雄, 鈴木豊重 (1997) 西部北海道の基盤岩類と伝導卓越系温泉について, 地下資源調査所報告, 68, pp. 1–16.
- 松波武雄, 鈴木隆広 (1997) 道内温泉水等の水素・酸素同位体比, 地下資源調査所報告, 68, pp. 149–152.
- 松波武雄 (1998) 北海道の中性~アルカリ性硫酸塩泉について, 地下資源調査所報告, 69, pp. 1–13.
- 松波武雄, 藤本和徳, 鈴木隆広 (2000) 北海道の温泉井と“新規温泉地”について, 北海道立地質研究所報告, 71, pp. 13–25.
- 松波武雄, 秋田藤夫, 柴田智郎, 藤本和徳, 鈴木隆広, 高橋徹哉 (2001) 北海道地熱・温泉ボーリング井データ集 1996~2000, 北海道立地質研究所.
- 松波武雄, 秋田藤夫, 柴田智郎, 藤本和徳, 鈴木隆広, 高橋徹哉 (2001) 北海道地熱・温泉ボーリング井索引図 1996~2000, 北海道立地質研究所.
- 松尾良子, 中川光弘 (2017) 北海道南西部ニセコ火山群, イワオヌプリ火山の形成史と活動年代, 日本地球惑星科学連合大会予稿集, SVC50-P13.
- Miura, S., Sato, T., Hasegawa, A., Suwa, Y., Tachibana, K., Yui, S. (2004) Strain concentration zone along the volcanic front derived by GPS observations in NE Japan arc, *Earth, Planets and Space*, 56, pp. 1347–1355.
- 森野祐助, 大森一人, 鈴木隆広 (2020) ニセコ地域における表流水の水素・酸素安定同位体比分布, 北海道地質研究所報告, 91, pp. 23–28.
- Morishige, M., van Keken, P. E. (2014) Along-arc variation in the 3-D thermal structure around the junction between the Japan and Kurile arcs, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15, pp. 2225–2240.
- Morishige, M. (2015) A new regime of slab-mantle coupling at the plate interface and its possible implications for the distribution of volcanoes, *Earth and Planetary Science Letters*, 427, pp. 262–271.
- 守屋以智雄 (1979) 日本の第四紀火山の地形発達と分類, *地理学評論*, 52, 9, pp. 479–501.
- 守屋以智雄 (1979) 日本の第四紀前半の火砕流台地, 火山, 24, 2, p. 119.
- 守屋以智雄 (1983) 日本の火山地形, UP Earth Science, 東京大学出版会.
- 村上 亮, 小沢慎三郎 (2004) GPS 連続観測による日本列島上下地殻変動とその意義, *地震* 第2輯, 57, pp. 209–231.
- 村岡洋文, 阪口圭一, 玉生志郎, 佐々木宗建, 茂野 博, 水垣桂子 (2007) 日本の熱水系アトラス, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 村岡洋文, 阪口圭一, 玉生志郎, 佐々木宗建, 茂野 博, 水垣桂子, 駒澤正夫 (2009) 全国地熱ポテンシャルマップ, 数値地質図, GT-4, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- N
- 長尾 巧, 佐々保雄 (1933) 北海道西南部の新生代層と最近の地史 (1), *地質学雑誌*, 40, 480, pp. 555–577.
- 長尾 巧, 佐々保雄 (1933) 北海道西南部の新生代層と最近の地史 (2), *地質学雑誌*, 40, 483, pp. 750–755.
- 長尾 巧, 佐々保雄 (1934) 北海道西南部の新生代層と最近の地史 (3), *地質学雑誌*, 41, 485, pp. 47–60.
- 長尾 巧, 佐々保雄 (1934) 北海道西南部の新生代層と最近の地史 (4), *地質学雑誌*, 41, 488, pp. 211–260.
- 内藤一樹 (2017) 国内の鉱床・鉱徴地に関する位置データ集 (第2版), *地質調査総合センター速報*, 73.
- Nakagawa, M. (1992) Spatial variation in chemical composition of Pliocene and Quaternary volcanic rocks in southwestern Hokkaido, northeastern Japan arc, *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 4, Geology and mineralogy*, 23, 2, pp. 175–197.
- 中川光弘, 丸山裕則, 船山 淳 (1995) 北海道第四紀火山の分布と主成分化学組成の広域変化, *火山*, 40, 1, pp. 13–31.
- 中川光弘, 広瀬 亘, 岩崎深雪 (1999) 北海道の6Ma以降の火山活動の時空変遷から見た千島弧-東北日本弧会合部のテクトニクス変遷, *月刊地球*, 21, 9, pp. 543–548.
- 中川光弘, 清野寛子 (2000) 東北日本弧背弧側、第四紀火山の成因: 日本海盆沈み込み可能性, *日本地質学会第107年学術大会講演要旨*, O-315.
- 中川光弘 (2016) 北海道の活火山の活動の現況と今後, 第54回試錐研究会講演資料集, pp. 1–26, 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所.
- Nakajima, J., Hasegawa, A. (2021) Prevalence of shallow low-frequency earthquakes in the continental crust, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126, e2020JB021391, doi: 10.1029/2020JB021391.
- Nakamura, M., Yoshida, Y., Zhao, D., Takayama, H., Obana, K., Katao, H., Kasahara, J., Kanazawa, T., Kodaira, S., Sato, T., Shiobara, H., Shinohara, M., Shimamura, H., Takahashi, N., Nakanishi, A., Hino, R., Murai, Y., Mochizuki, K. (2008) Three-dimensional P- and S-wave velocity structures beneath Japan,

- Physics of the Earth and Planetary Interiors, 168, pp. 49–70.
- Nakamura, R., Shiina, T. (2019) Three-dimensional S-wave attenuation structure in and around source area of the 2018 Hokkaido Eastern Iwate Earthquake, Japan, Earth, Planets and Space, 71:114, doi: 10.1186/s40623-019-1095-6.
- 中野 俊, 西来邦章, 宝田晋治, 星住英夫, 石塚吉浩, 伊藤順一, 川辺禎久, 及川輝樹, 古川竜太, 下司信夫, 石塚 治, 山元孝広, 岸本清行編 (2013) 日本の火山 (第3版), 200万分の1地質編集図, 11, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 成田英吉, 矢島淳吉, 太田英順, 渡辺 寧, 羽坂俊一, 羽坂なな子, 平野英雄, 須藤定久 (1996) 鉱物資源図 北海道 (東部・西部), 鉱物資源図, 1, 地質調査所.
- 根本忠寛 (1942) 余別岳圖幅説明書, 北海道工業試験場地質調査報告, 7.
- 根本忠寛, 対馬坤六, 上島 宏 (1955) 5万分の1地質図幅「古平(附 幌武意)」及び説明書「古平および幌武意」, 5万分の1地質図, 札幌-第9, 2号, 北海道開発庁.
- 日本地質学会編 (2010) 日本地方地質誌1 北海道地方, 朝倉書店.
- 日本の地質『北海道地方』編集委員会編 (1990) 日本の地質1 北海道地方, 共立出版.
- 日本の地質増補版編集委員会編 (2005) 日本の地質 増補版, 共立出版.
- 西田泰典, 橋本武志 (2007) 北海道における地殻, 上部マントルの熱的構造: 総合報告, 北海道大学地球物理学研究報告, 70, pp. 1–12.
- 西来邦章, 伊藤順一, 上野龍之編 (2012) 第四紀火山岩体・貫入岩体データベース, 地質調査総合センター速報, 60, <https://unit.aist.go.jp/iev/gdger/db/QVDB/>, 2022年5月11日閲覧.
- 西来邦章, 伊藤順一, 上野龍之, 内藤一樹, 塚本 斉 (2014) 第四紀噴火・貫入活動データベース, https://gbank.gsj.jp/quatigneous/index_qvir.php, 2022年5月11日閲覧.
- Niu, X., Zhao, D., Li, J., Ruan, A. (2016) P wave azimuthal and radial anisotropy of the Hokkaido subduction zone, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 121, pp. 2636–2660.
- O**
- 大場与志男 (1960) ニセコ火山群の岩石について, 地質学雑誌, 66, 783, pp. 788–799.
- 小倉信雄, 鈴木良一 (1971) 国富鉱山付近の地質構造, 火成活動および鉱化作用について, 鉱山地質, 21, 3, pp. 195–207.
- 大森一人 (2018) 泉質分析による温泉水の起源と成因の推定, 平成30年度調査研究成果発表会資料集, p. 48, 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所.
- 大森一人, 鈴木隆広 (2018) ニセコ火山群周辺の温泉水の化学組成 (その1), 北海道地質研究所報告, 90, pp. 49–55.
- 大森一人 (2020) 化学成分から分類した温泉水の起源と地質学的関係, 産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所 調査研究成果資料集 令和2年度 (2020年度), S-3.
- 大森一人, 鈴木隆広 (2020) ニセコ火山群周辺の温泉水の化学組成 (その2), 北海道地質研究所報告, 91, pp. 17–22.
- Ohta, E., Kawano, Y., Nakagawa, M., Kagami, H. (1998) Petrochemistry of late Miocene to Quaternary igneous rocks and metallogenesis in Southwest Hokkaido, Japan, Resource Geology, 48, 3, pp. 183–196.
- 大園真子 (2013) GPS観測に基づく北海道地方の2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) に伴うひずみの時空間変化, 北海道大学地球物理学研究報告, 76, pp. 97–110.
- 及川輝樹 (2011) 江戸時代における北海道の噴煙活動と噴火活動の関係, 日本火山学会講演予稿集, B1-14.
- Okada, H., Suzuki, S., Moriya, T., Asano, S. (1973) Crustal structure in the profile across the southern part of Hokkaido, Japan, as derived from explosion seismic observations, Journal of Physics of the Earth, 21, pp. 329–354.
- 岡 大輔 (2018) 重力探査・電磁探査による地下構造調査, 平成30年度調査研究成果発表会資料集, p. 47, 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所.
- Oka, D., Tamura, M., Mogi, T., Nakagawa, M., Takahashi, H., Ohzono, M., Ichiyangi, M. (2023) Conceptual model of supercritical geothermal system in Shiribeshi Region, Hokkaido, Japan, Geothermics, 108, 102617, doi: 10.1016/j.geothermics.2022.102617.
- 岡村 聡, 石井次郎, 渡辺 寧 (1989) 日本海北東縁, 二子海丘から採取された火山岩片と K-Ar 年代, 岩鉱, 83, 1, pp. 32–36.
- 岡村行信, 佐藤太一 (2023) 積丹半島付近海底地質図, 海洋地質図, 94, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 大久保泰邦 (1984) 全国のキュリー点解析結果, 地質ニュース, 362, pp. 12–17, 地質調査所.
- Okubo, Y., Tsu, H., Ogawa, K. (1989) Estimation of Curie point temperature and geothermal structure of island arcs of Japan, Tectonophysics, 159, 3-4, pp. 279–290.
- 大久保泰邦 (1993) 日本列島の温度勾配図, 日本地熱学会誌, 15, 1, pp. 1–21.
- 大久保泰邦, 秋田藤夫, 田中明子 (1997) 北海道の温度勾配図とシミュレーション, 地質ニュース, 517, pp. 24–29, 地質調査所.
- 大久保泰邦, 秋田藤夫, 田中明子 (1998) 地温勾配図作成と地下温度構造を求める試み—北海道の例—, 日本地熱学会誌, 20, 1, pp. 15–29.
- 奥野 充 (2003) ニセコ・イワオヌプリ, 大雪山・旭岳, 屈斜路・アトサヌプリにおける最新噴火の年代学的研究,

- 北海道における完新世火山の火山活動特性の評価, 平成12年度~平成14年度科学研究費補助金(基礎研究(C)(2))研究成果報告書(課題番号12640461), pp. 13-23.
- Omuralieva, M. A., Hasegawa, A., Matsuzawa, T., Nakajima, J., Okada, T. (2012) Lateral variation of the cutoff depth of shallow earthquakes beneath the Japan Islands and its implications for seismogenesis, *Tectonophysics*, 518-521, pp. 93-105.
- 小野晃司, 曾屋龍典, 三村弘二編 (1981) 日本の火山 (第2版), 200万分の1地質編集図, 11, 地質調査所.
- 太田良平, 上村不二雄, 大沢 穠 (1954) 5万分の1地質図幅「仁木」及び説明書, 5万分の1地質図, 札幌-第19号, 北海道開発庁.
- 大槻憲四郎 (1989) 鉬脈による新第三紀東北本州弧の造構応力場復元, *地質学論集*, 32, pp. 281-304.
- S**
- 嵯峨山 積, 保柳康一, 石井次郎 (1988) 北海道積丹半島沖海洋火山, 1988年調査で採取された堆積岩中の珪藻群集, *北海道東海大学紀要理工学系*, 1, pp. 17-21.
- 嵯峨山 積, 内田康人, 村山泰司, 菅 和哉, 濱田誠一 (1999) 1998年浅海域地質調査(西南北海道海域)の概要—岩内海域および島牧・寿都海域—, *地下資源調査所報告*, 70, pp. 149-160.
- 嵯峨山 積, 内田康人, 大澤賢人, 菅 和哉, 濱田誠一, 村山泰司, 仁科健二 (2000) 北海道沿岸域の地質・底質環境—2— 西南北海道海域, *北海道立地質研究所調査研究報告*, 29.
- 嵯峨山 積 (2002) 北海道利尻島および積丹半島の新第三系の地質年代と対比, *北海道立地質研究所報告*, 73, pp. 99-106.
- Sagiya, T., Miyazaki, S., Tada, T. (2000) Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan, *Pure and Applied Geophysics*, 157, pp. 2303-2322.
- Sagiya, T. (2004) A decade of GEONET: 1994-2003 — The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies—, *Earth, Planets and Space*, 56, pp. xxix-xli.
- 斎藤 仁 (1962) 北海道の鉬泉資源, *地下資源調査所報告*, 28, pp. 1-88.
- 斎藤正雄, 五十嵐昭明, 番場猛夫, 沢 俊明, 山田敬一, 成田英吉 (1963) 北海道金属非金属鉬床総覧 I. 新第三紀後期-第四紀の鉬化作用, *地質調査所*.
- 斎藤正雄, 番場猛夫, 沢 俊明, 成田英吉, 五十嵐昭明, 山田敬一, 佐藤博之 (1967) 北海道金属非金属鉬床総覧 *地質調査所*.
- 斎藤正次, 上村不二雄, 大沢 穠 (1952) 5万分の1地質図幅「茅沼」及び説明書, 5万分の1地質図, 札幌-第18号, 北海道開発庁.
- 斎藤正次 (1953) 300万分の1日本地質図, *地質調査所*.
- 斎藤昌之 (1966) 特殊地帯地下資源開発調査報告 積丹半島地域調査統括 北海道開発計画調査 地下資源開発計画調査, 北海道開発庁.
- 斎藤昌之, 松下 亘 (1968) 特定鉬床開発促進調査 積丹半島地域, 北海道開発計画調査 鉬床開発計画調査, 北海道開発庁.
- 坂川幸洋, 梅田浩司, 鈴木元孝, 梶原竜哉, 内田洋平 (2004) 日本の坑井温度プロフィールデータベース, *地震* 第2輯, 57, 1, pp. 63-67.
- 酒匂純俊, 和気 徹, 早川福利, 二間瀬 洌, 横山英二, 斎藤尚志, 松波武雄, 内田 豊 (1976) 北海道の地熱・温泉 (A) 西南北海道中南部, *地下資源調査所調査研究報告*, 3.
- 酒匂純俊, 和気 徹, 早川福利, 二間瀬 洌, 横山英二, 松波武雄, 斎藤尚志, 内田 豊 (1977) 北海道の地熱・温泉 (B) 西南北海道北部, *地下資源調査所調査研究報告*, 4.
- 酒匂純俊, 鈴木 守, 長谷川 潔, 高橋功二, 松下勝秀, 舟橋三男 (1980) 北海道の地質と資源 I 北海道の地質—北海道地質図—, 60万分の1地質図, 北海道立地下資源調査所.
- 産業技術総合研究所: 高分解能音波探査断面データベース (3.5kHz SBP), https://gbank.gsj.jp/sbp_db/pages/cover.html, 2023年9月25日閲覧.
- 産業技術総合研究所: 地下構造可視化システム, <https://gbank.gsj.jp/subsurface/>, 2022年5月11日閲覧.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2002) 北海道地質ガイド第2版, 数値地質図, G-7.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2003) 100万分の1日本地質図第3版 CD-ROM 版第2版, 数値地質図, G-1.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2003) 200万分の1日本地質図第5版 CD-ROM 版, 数値地質図, G-10.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2005) 日本温泉・鉬泉分布図及び一覽 (第2版) CD-ROM 版, 数値地質図, GT-2.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2005) 日本空中磁気データベース, 数値地質図, P-6.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2013) 日本重力データベース DVD 版, 数値地質図, P-2.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020) 20万分の1日本火山図 (Ver. 1.0d), <https://gbank.gsj.jp/volcano/vmap/>, 2022年9月25日閲覧.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2022) 20万分の1日本シームレス地質図 V2, <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html>, 2023年9月25日閲覧.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター: 地殻応力場データベース, <https://gbank.gsj.jp/crstress/>, 2023年9月25日閲覧.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター: 海域地質構造データベース, <https://gbank.gsj.jp/marineseisdb/>, 2023年9月25日閲覧.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター: 第四紀火山,

- https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/index.html, 2023年9月27日閲覧。
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター：地質図表示システム 地質図 Navi, <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>, 2023年9月25日閲覧。
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター：地熱情報データベース (GRES-DB), <https://gbank.gsj.jp/gres-db/>, 2022年5月11日閲覧。
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター：日本の活火山, https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/index.html, 2022年5月10日閲覧。
- Sano, Y., Wakita, H. (1985) Geographical distribution of $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in Japan: Implications for arc tectonics and incipient magmatism, *Journal of Geophysical Research*, 90, B10, pp. 8729–8741.
- 沢井長雄, 雁沢好博 (1988) 札幌市豊羽鉾山周辺の新第三系酸性凝灰岩のフィッシュン・トラック年代, 鉾山地質, 38, 6, pp. 517–525.
- Sawai, O., Okada, T., Itaya, T. (1989) K-Ar ages of sericite in hydrothermally altered rocks around the Toyoha deposits, Hokkaido, Japan, *Mining Geology*, 39, 3, pp. 191–204.
- 沢井長雄, 米田哲朗, 板谷徹丸 (1992) 西南北海道千歳・轟・手稲金銀鉾脈床の K-Ar 年代, 資源地質, 42, 5, pp. 323–330.
- 沢井長雄, 板谷徹丸 (1993) 西南北海道積丹-洞爺地域の黒鉾型鉾床の K-Ar 年代, 資源地質, 43, 3, pp. 165–172.
- 沢井長雄, 板谷徹丸 (1996) 西南北海道積丹半島に分布する熱水鉾床の K-Ar 年代, 資源地質, 46, 6, pp. 327–336.
- 沢井長雄, 板谷徹丸 (1996) 西南北海道小樽-支笏地域の鉾脈鉾床の K-Ar 年代, 資源地質, 46, 1, pp. 33–42.
- 沢井長雄, 板谷徹丸 (2015) 西南北海道積丹-洞爺地域の熱水鉾床の K-Ar 年代, 地質技術, 5, pp. 1–10.
- 沢 俊明, 山田敬一, 成田英吉, 斎藤正雄, 番場猛夫, 五十嵐昭明 (1963) 北海道金属非金属鉾床総覧 II. 新第三紀の鉾化作用, 地質調査所.
- 柴田智郎, 高橋徹哉, 岡崎紀俊, 廣瀬 亘, 秋田藤夫, 高橋 良 (2010) ニセコ地域の温泉資源に関する研究 (東部～南部地域), 平成 22 年地質研究所調査研究成果報告会報告資料集, p. 28, 北海道立総合研究機構地質研究所.
- 柴田智郎 (2011) 化学組成からみたニセコ地域の温泉—南部から東部の温泉の特徴—, 第 49 回試錐研究会講演資料集, pp. 50–56, 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所.
- 柴田智郎, 高橋徹哉, 岡崎紀俊, 高橋 良, 秋田藤夫 (2011) ニセコ地域南部から東部山麓における温泉の地域的特徴について, 北海道地質研究所報告, 82, pp. 1–8.
- 柴田智郎, 秋田藤夫, 高橋徹哉, 岡崎紀俊 (2011) ニセコ地域における温泉湧出量と降水量の関係, 北海道地質研究所報告, 83, pp. 63–65.
- 茂野 博 (2011) 北海道 胆振地方, 白老地域と周辺 3 広域地域の「温泉水」の地球化学・同位体化学的な特徴と起源—「深層熱水型資源」・「大深度 (掘削) 温泉」の事例研究—, 地質調査研究報告, 62, 3/4, pp. 143–176.
- Shiina, T., Takahashi, H., Okada, T., Matsuzawa, T. (2018) Implications of seismic velocity structure at the junction of Kuril-northeastern Japan arcs on active shallow seismicity and deep low-frequency earthquakes, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, pp. 8732–8747.
- Shimizu, T., Aoki, M. (2011) Hydrothermal alteration and K-Ar ages of Neogene–Quaternary magmatic–hydrothermal systems at Toyoha-Muine area in Southwest Hokkaido, Japan, *Resource Geology*, 61, 2, pp. 192–209.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2021) 2018 年度～2020 年度成果報告書 超臨界地熱発電技術研究開発/超臨界地熱資源の評価と調査井仕様の詳細設計/東日本・九州地域における超臨界地熱資源有望地域の調査と抽熱可能量の推定.
- 新エネルギー総合開発機構 (1985) 昭和 59 年度全国地熱資源総合調査 (第 2 次) 火山性熱水対流系地域タイプ① (ニセコ地域) 調査 火山岩分布年代調査報告書.
- 新エネルギー総合開発機構 (1985) 昭和 59 年度全国地熱資源総合調査 (第 2 次) 火山性熱水対流系地域タイプ① (ニセコ地域) 調査 火山岩分布年代調査報告書 要旨.
- 新エネルギー総合開発機構 (1986) 昭和 60 年度全国地熱資源総合調査 (第 2 次) 火山性熱水対流系地域タイプ① (ニセコ地域) 調査 火山岩分布年代調査報告書.
- 新エネルギー総合開発機構 (1987) 全国地熱資源総合調査 (第 2 次) 火山性熱水対流系地域タイプ①ニセコ地域火山地質図及び地熱地質編図.
- 新エネルギー総合開発機構 (1987) 昭和 61 年度全国地熱資源総合調査 (第 2 次) 火山性熱水対流系地域タイプ① (ニセコ地域) 地熱調査成果図集.
- 新エネルギー総合開発機構 (1988) 豊羽地域, 地熱開発促進調査報告書, 12.
- 新エネルギー総合開発機構 (1995) 阿女鱒岳地域, 地熱開発促進調査報告書, 36.
- 周藤賢治, 土谷信高, 田村真一, 山崎哲良 (1989) 後志海山からドレッジされた第四紀火山岩の微量元素, 岩鉾, 84, 4, p. 123.
- 角 清愛 (1975) 日本温泉分布図 (第 2 版), 200 万分の 1 地質編集図, 8, 地質調査所.
- 角 清愛, 金原啓司, 高島 勲 (1979) 日本の熱水変質帯分布図 1. 鮮新世後期-完新世, 200 万分の 1 地質編集図, 19-1, 地質調査所.
- 角 清愛 (1980) 日本温泉放熱量分布図, 200 万分の 1 地質編集図, 21, 地質調査所.
- 角 清愛, 高島 勲編 (1980) 日本地熱資源賦存地域分布図, 200 万分の 1 地質編集図, 20, 地質調査所.
- 鈴木豊重, 川森博史, 内田 豊, 竹林 勇 (1976) ニセコ町の温泉ボーリング調査報告, 地下資源調査所報告, 48, pp. 117–122.

- 鈴木豊重, 川森博史, 高橋徹哉, 大津 直, 鈴木隆広, 藤本和徳編 (1995) 北海道市町村の地熱・温泉ポーリング—地域エネルギー開発利用施設整備事業— (昭和 55 年度～平成 5 年度), 北海道立地下資源調査所.
- T**
- 高橋浩晃, 宮村淳一, 郷家幸治 (1999) 北海道で発生した深部低周波地震, 北海道大学地球物理学研究報告, 62, pp. 25–41.
- 高橋浩晃, 宮村淳一 (2009) 日本列島における深部低周波地震の発生状況, 北海道大学地球物理学研究報告, 72, pp. 177–190.
- 高橋正明, 風早康平, 安原正也, 塚本 齊, 佐藤 努, 高橋 浩, 森川徳敏, 清水 徹, 宮越昭暢, 戸崎裕貴, 東郷洋子, 稲村明彦, 半田宙子, 仲間純子, 中村有理, 竹内久子, 大丸 純, 清水日奈子, 尾山洋一, 大和田道子, 切田 司 (2018) 深層地下水データベース (第 2 版), 地質調査総合センター研究資料集, 653.
- 高見雅三, 鈴木隆広, 高橋徹哉, 柴田智郎, 小澤 聡, 藤本和徳, 秋田藤夫 (2008) 北海道における地熱・温泉利用の現状—2007 年版—, 北海道立地質研究所.
- 高見雅三, 鈴木隆広, 高橋徹哉, 柴田智郎, 小澤 聡, 藤本和徳, 秋田藤夫 (2008) 北海道地熱・温泉ポーリング井データ集および索引図 (統合版), 北海道立地質研究所.
- 竹内 章, 田中武男 (1990) 後志海山の地形地質とテクトニクス, 海洋科学技術センター試験研究報告, 6, pp. 317–326.
- 玉木賢策, 湯浅真人, 西村清和, 本座栄一, 宮崎輝旗, 石原文実 (1979) 北海道周辺日本海及びオホーツク海域広域海底地質図, 海洋地質図, 14, 地質調査所.
- 玉生志郎, 松波武雄, 金原啓司, 川村政和, 駒澤正夫, 高橋正明, 阪口圭一 (2001) 50 万分の 1 札幌地熱資源図及び同説明書, 特殊地質図, 31-4, 地質調査所.
- 玉生志郎, 高橋正明, 松波武雄, 金原啓司, 川村政和, 駒澤正夫, 阪口圭一 (2002) 50 万分の 1 地熱資源図「札幌」及び「青森」, 地質ニュース, 572, pp. 21–23, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 田村 慎 (2018) 岩内町における地熱・温泉資源の開発可能性について, 平成 30 年度調査研究成果発表会資料集, p. 40, 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所.
- 田村 慎 (2020) MT 法探査による 3 次元比抵抗構造, 産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所 調査研究成果資料集 令和 2 年度 (2020 年度), S-2.
- 田村 慎 (2020) ニセコ地域における地熱資源探査, 第 58 回試錐研究会講演資料集, pp. 43–48, 北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所.
- Tamura, M., Oka, D., Okazaki, N., Suzuki, K., Hashimoto, T., Mogi, T. (2022) Magnetotelluric survey and three-dimensional resistivity structure in and around the Niseko area, southwestern Hokkaido, *Geothermics*, 105, 102496, doi: 10.1016/j.geothermics.2022.102496.
- Tamura, Y., Tatsumi, Y., Zhao, D., Kido, Y., Shukuno, H. (2002) Hot fingers in the mantle wedge: new insights into magma genesis in subduction zones, *Earth and Planetary Science Letters*, 197, pp. 105–116.
- 田村芳彦 (2003) 東北日本弧と大和海盆周辺のマグマの成因関係—「熱い指」のダイナミックモデル—, 地学雑誌, 112, 5, pp. 781–793.
- 田村芳雄, 津 宏治, 中井順二 (1974) 積丹・奥尻海域空中磁気図, 空中磁気図, 10, 地質調査所.
- 田中明子, 大久保泰邦, 松林 修 (1997) 東・東南アジア地域のキュリー点深度解析, 地震 第 2 輯, 50, pp. 183–194.
- 田中明子, 矢野雄策, 笹田政克, 大久保泰邦, 梅田浩司, 中司 昇, 秋田藤夫 (1999) 坑井の温度データによる日本の地温勾配値のコンパイル, 地質調査所月報, 50, 7, pp. 457–487.
- Tanaka, A. (2004) Geothermal gradient and heat flow data in and around Japan (II): Crustal thermal structure and its relationship to seismogenic layer, *Earth, Planets and Space*, 56, pp. 1195–1199.
- Tanaka, A., Yamano, M., Yano, Y., Sasada, M. (2004) Geothermal gradient and heat flow data in and around Japan (I): Appraisal of heat flow from geothermal gradient data, *Earth, Planets and Space*, 56, pp. 1191–1194.
- 田中明子, 山野 誠, 矢野雄策, 笹田政克 (2004) 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース, 数値地質図, P-5, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 田中明子, 濱元栄起, 山野 誠, 後藤秀作 (2019) 日本列島及びその周辺域の熱データベース, https://www.gsj.jp/Map/JP/docs/jm100_doc/jm_geothermal-db.html, 2022 年 5 月 11 日閲覧.
- Tanaka, H., Tsunakawa, H., Yamagishi, H., Kimura, G. (1991) Paleomagnetism of the Shakotan Peninsula, West Hokkaido, Japan, *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 43, 4, pp. 277–294.
- Terakawa, T., Matsuura, M. (2010) The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, *Tectonics*, 29, TC6008, doi: 10.1029/2009TC002626.
- Tsuchiya, N., Ishii, J., Yamazaki, T., Shuto, K. (1989) A newly discovered Quaternary volcano from northeast Japan Sea: K-Ar age of andesite dredged from the Shiribeshi Seamount, *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, 84, 11, pp. 391–397.
- 対馬坤六 (1968) 20 万分の 1 地質図幅「岩内」, 20 万分の 1 地質図, NK-54-20, 地質調査所.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (1985) 昭和 59 年度 広域調査報告書 積丹地域.

通商産業省資源エネルギー庁 (1986) 昭和60年度 広域調査報告書 積丹地域。
通商産業省資源エネルギー庁 (1987) 昭和61年度 広域地質構造調査報告書 積丹地域。
通商産業省資源エネルギー庁 (1988) 昭和62年度 広域地質構造調査報告書 積丹地域。
通商産業省資源エネルギー庁 (1989) 昭和63年度 広域地質構造調査報告書 積丹地域。

U

Uchide, T., Shiina, T., Imanishi, K. (2022) Stress map of Japan: Detailed nationwide crustal stress field inferred from focal mechanism solutions of numerous microearthquakes, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127, e2022JB024036, doi: 10.1029/2022JB024036.
内出崇彦, 椎名高裕, 今西和俊 (2022) 日本全国内陸部の地殻内応力マップと微小地震の発震機構解のデジタルデータ, *地質調査総合センター研究資料集*, 738, p. 6.
内野栄治, 青柳直樹, 市橋大山, 中山憲司 (2011) 湧出形態別に見た道内温泉のホウ素濃度, *温泉科学*, 61, 1, pp. 2–22.
上澤真平, 伊藤久敏 (2020) 北海道南西部, 羊蹄火山東麓に分布する緑色凝灰岩層のジルコン U-Pb 年代, *地質学雑誌*, 126, 10, pp. 589–595.
梅田浩司, 小松 亮, 中司 昇 (1999) 坑井データによる地下温度構造の推定, *サイクル機構技報*, 2, pp. 29–36.

W

Wada, I., He, J., Hasegawa, A., Nakajima, J. (2015) Mantle wedge flow pattern and thermal structure in Northeast Japan: Effects of oblique subduction and 3-D slab geometry, *Earth and Planetary Science Letters*, 426, pp. 76–88.
若浜 洋, 秋田藤夫, 松波武雄 (1995) 北海道地温勾配図及び説明書, 60 万分の 1 地質図, 北海道立地下資源調査所。
Wang, J., Zhao, D. (2009) P-wave anisotropic tomography of the crust and upper mantle under Hokkaido, Japan, *Tectonophysics*, 469, pp. 137–149.
Wang, Z., Zhao, D., Liu, X., Chen, C., Li, X. (2017) P and S wave attenuation tomography of the Japan subduction zone, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18, pp. 1688–1710.
Wang, Z., Zhao, D. (2019) Updated attenuation tomography of Japan subduction zone, *Geophysical Journal International*, 219, pp. 1679–1697.
Wang, Z., Zhao, D. (2021) 3D anisotropic structure of the Japan subduction zone, *Science Advances*, 7, eabc9620, doi: 10.1126/sciadv.abc9620.
Wang, Z., Zhao, D. (2005) Seismic imaging of the entire arc of Tohoku and Hokkaido in Japan using P-wave, S-

wave and sP depth-phase data, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 152, pp. 144–162.

渡辺 寧 (1986) 鉾脈の方向から推定された広域応力場—北海道における中期中新世以降の鉾脈の例—, *鉾山地質*, 36, 3, pp. 209–218.

Watanabe, Y. (1990) Pliocene to Pleistocene volcanism and related vein-type mineralization in Sapporo-Iwanai district, Southwest Hokkaido, Japan, *Mining Geology*, 40, 5, pp. 289–298.

Watanabe, Y. (1991) Mineralization ages of Ofukeshi, Shizukari, Yakumo and Jokoku deposits and structural movements related to vein-type mineralization in Southwest Hokkaido, *Mining Geology*, 41, 3, pp. 141–146.

渡辺 寧, 渡辺真人 (1992) K-Ar 年代および珪藻化石群集に基づく西南北海道北部の火山砕屑岩類の層序と年代, *地球科学*, 46, 2, pp. 143–152.

渡辺 寧 (1993) 岩脈・火口配列に基づく西南北海道北部の新生代後期の応力場, *地質学雑誌*, 99, 2, pp. 105–116.

渡辺 寧 (1993) 西南北海道における新生代後期の応力場の転換と鉾化作用, *資源地質*, 43, 3, pp. 214–215.

渡辺 寧 (1993) 西南北海道北部の火山列—ニセコ-羊蹄火山列はなぜ曲がったのか?—, *石井次郎教授追悼論文集*, pp. 147–154.

Watanabe, Y., Ohta, E. (1999) Late Miocene magmatic-hydrothermal systems in the Jozankei-Zenibako district, Southwest Hokkaido, Japan, *Resource Geology*, 49, 2, pp. 59–74.

渡辺 寧 (2000) 札幌-岩内地域マグマ-鉾化熱水系分布図, *特殊地質図*, 38, 地質調査所。

渡辺 寧 (2001) 豊羽鉾床とプレート・テクトニクス, *地質ニュース*, 564, pp. 6–15, 産業技術総合研究所地質調査総合センター。

Watanabe, Y. (2002) Late Cenozoic metallogeny of Southwest Hokkaido, Japan, *Resource Geology*, 52, 3, pp. 191–210.

渡辺 寧 (2002) 札幌-岩内地域マグマ-鉾化熱水系分布図, *地質ニュース*, 572, pp. 24–25, 産業技術総合研究所地質調査総合センター。

Wirth, E. A., Korenaga, J. (2012) Small-scale convection in the subduction zone mantle wedge, *Earth and Planetary Science Letters*, 357–358, pp. 111–118.

Y

八幡正弘 (1989) 西南北海道北部の新生界とその特徴, *地質学論集*, 32, pp. 7–28.

八幡正弘, 黒沢邦彦, 岡村 聡 (2000) 西北北海道, 小樽—赤井川地域に分布する新第三系火山岩層序と鉾化作用, *北海道立地質研究所報告*, 71, pp. 49–58.

八幡正弘 (2002) 北海道における後期新生代の鉾化作用および熱水活動の時空変遷, *北海道立地質研究所報告*, 73, pp. 151–194.

- 八幡正弘 (2005) 北海道の新生代鉱床区における熱水活動履歴, 地球科学, 59, 3, pp. 193–212.
- 矢島淳吉, 羽坂俊一, 太田英順, 渡辺 寧, 中川 充, 成田英吉 (1991) 北海道における金属・非金属資源産出量とその特徴—特に新第三紀—第四紀鉱化作用について—, 地質調査所月報, 42, 10, pp. 527–542.
- 矢島淳吉, 太田英順, 渡辺 寧 (1993) 豊羽鉱床の生成様式, 地質調査所月報, 44, 2/3/4, pp. 239–249.
- 山田直利, 斎藤英二, 村田泰章 (1990) コンピューター編集による日本地質図及び説明書, 200 万分の 1 地質編集図, 22, 地質調査所.
- 山岸宏光, 国府谷盛明, 安藤重幸 (1976) 5 万分の 1 地質図幅「島古丹」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 26 号, 北海道立地下資源調査所.
- 山岸宏光, 石井正之 (1979) 5 万分の 1 地質図幅「余別および積丹岬」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 8, 1 号, 北海道立地下資源調査所.
- 山岸宏光, 積丹地研グループ (1979) 積丹半島西南部の地質と火成活動—とくに, 層序とハイアロクラスタイトについて—, 地質学論集, 16, pp. 195–212.
- 山岸宏光 (1980) 5 万分の 1 地質図幅「神恵内」及び説明書, 5 万分の 1 地質図, 札幌-第 17 号, 北海道立地下資源調査所.
- Yamagishi, H. (1981) Geology of the Shakotan Peninsula, Hokkaido, Japan, Report of the Geological Survey of Hokkaido, 52, pp. 1–29.
- 山岸宏光, 渡辺 寧 (1986) 西南北海道における新生代後期の応力場の変遷—地質断層, 岩脈, 鉱脈および活断層の検討—, 北海道の地質と構造運動, 地研専報, 31, pp. 321–331.
- 山岸宏光 (1989) 西南北海道における新第三紀火山岩相の特徴と噴火活動略史, 地質学論集, 32, pp. 385–397.
- Yamagishi, H., Matsuda, Y. (1991) The Neogene submarine felsic rocks at Yoichi Beach, Shakotan Peninsula, The Journal of the Geological Society of Japan, 97, 4, pp. 269–277.
- 山口昇一, 秦 光男, 沢 俊明, 斎藤正雄, 番場猛夫, 山田敬一, 成田英吉, 五十嵐昭明, 佐藤博之, 石田正夫, 対馬坤六 (1965) 北海道金属非金属鉱床総覧 IV. 北海道地質図, 地質調査所.
- 山元孝広 (2014) 日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図, 地質調査総合センター研究資料集, 613.
- 矢野雄策, 田中明子, 高橋正明, 大久保泰邦, 笹田政克, 梅田浩司, 中司 昇 (1999) 日本列島地温勾配図, 地質調査所.
- 矢崎清貫 (1976) 日本油田・ガス田分布図 第 2 版, 200 万分の 1 地質編集図, 9, 地質調査所.
- 横山英二, 松波武雄 (1998) 北海道の温泉付随ガス, 地下資源調査所報告, 69, pp. 75–91.
- 横山 光, 八幡正弘, 岡村 聡, 西戸裕嗣 (2003) 西南北海道, 赤井川カルデラの火山層序とカルデラ形成史, 岩石鉱物科学, 32, pp. 80–95.
- 米倉伸之, 貝塚爽平, 野上道男, 鎮西清高編 (2001) 日本の地形 1 総説, 東京大学出版会.
- Yoo, S., Lee, C. (2020) Correlation of Quaternary volcano clusters with partial melting of mantle wedge, Northeast Japan: A numerical model study, Geophysical Research Letters, 47, e2019GL086205, doi: 10.1029/2019GL086205.
- Yu, Z., Zhao, D. (2020) Seismic evidence for water transportation in the forearc off Northern Japan, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125, doi: 10.1029/2019JB018600.

Z

- Zhao, D., Hasegawa, A. (1993) P wave tomographic imaging of the crust and upper mantle beneath the Japan Islands, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 98, pp. 4333–4353.
- Zhao, D., Hasegawa, A., Kanamori, H. (1994) Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 99, pp. 22313–22329.
- Zhao, D., Yanada, T., Hasegawa, A., Umino, N., Wei, W. (2012) Imaging the subducting slabs and mantle upwelling under the Japan Islands, Geophysical Journal International, 190, pp. 816–828.