

7. 支笏火砕流堆積物及び洞爺火砕流堆積物の 火口からの距離と層厚に関する検討

余白

① 支笏火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係

一部修正 (R5/1/20審査会合)

○支笏カルデラの東～南方、西方及び北方地域に区分した上で、支笏火砕流堆積物の層厚を推定し、支笏火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係を示している山元(2016)及び支笏火砕流堆積物の分布と層厚情報を網羅的に整理している宝田ほか(2022)について文献レビューを実施した。

【山元(2016)のレビュー結果】(P496～P498参照)

- 同文献に基づくと、支笏カルデラの東～南方地域においては、カルデラ近傍から遠方までの層厚情報が多く得られており、カルデラの近傍から遠方まで連続的に層厚情報が得られている千歳川周辺のエリアについては、支笏カルデラからの距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。
- 当該エリアの調査地点のうち、支笏カルデラからの最大到達地点における支笏火砕流堆積物の層厚は、0.8m程度である。
- 支笏カルデラから敷地方向である支笏カルデラの西方地域においては、正確な位置がわかる層厚情報は認められないものの、地質図幅等から推定した等層厚線を踏まえると、支笏カルデラからの距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。
- また、支笏火砕流堆積物の5mの等層厚線は、尻別岳北東まで描かれている。
- 支笏カルデラの北方地域においては、火口近傍から中流域にかけて層厚情報がほとんどないものの、地質図幅等から推定した等層厚線を踏まえると、支笏カルデラからの距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。

【宝田ほか(2022)のレビュー結果】(P500～P504参照)

- 既往地質図及び山元(2016)と比較して、支笏カルデラから北方、東方、西方について新たな小規模分布地点及び伏在分布地点が示され、支笏火砕流堆積物の分布範囲が従来より広がっている状況が認められる。
- 当該エリアの調査地点のうち、支笏カルデラからの最大到達地点(伊達市館山町付近)における支笏火砕流堆積物の層厚は、1.0m程度である。
- 支笏カルデラの北方及び東方地域においては、複数の層厚情報が得られており、山元(2016)と同様、支笏カルデラからの距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。
- 敷地方向である支笏カルデラの西方地域においては、羊蹄山南東側の真狩村付近まで認められるが、その層厚は5cm程度と小さく、距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。
- なお、真狩村付近より敷地方向の羊蹄山北側地点においては、尻別川沿いにrework(再堆積物)が示されており、その層厚は5mと比較的大きいものの、当該堆積物については、古倶知安湖に直接又は間接的に流入した支笏火砕流が、湖底に厚く堆積した堆積物と考えられる。



- 支笏火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係には、山元(2016)及び宝田ほか(2022)のレビュー結果を踏まえると、層厚データの不確かさ(地域地質図幅等からの推定等)を含むものの、支笏カルデラからいずれの方向においても、距離の増加に応じ層厚が小さくなる傾向が認められる。

①-1 山元 (2016) (1/3)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

○支笏火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係について確認するため、支笏カルデラの東～南方、西方及び北方地域に区分し、支笏火砕流堆積物の層厚を推定している山元 (2016) をレビューした。

【山元 (2016)】

- 支笏火砕流堆積物の分布範囲と層厚に関する情報を、ボーリング資料や地域地質調査報告書等の文献から抽出したとされている。
- 文献資料から、支笏火砕流堆積物の層厚を読み取れるデータを抽出し、その位置を地図上にプロットしたとされている (次頁図参照)。
- データ数は合計で351地点であるとされている。
- 次頁図では山縣 (2000) をもとに支笏火砕流堆積物の分布範囲を黄線で示しているが、文献より抽出した層厚情報の分布には偏りがあるとされている。
- 支笏カルデラの近傍や西方では、層厚情報がほとんどないとされている。
- 一方、カルデラ東方の千歳市街周辺や苫小牧、札幌周辺では地域地質調査や公共工事ボーリング等により、層厚情報が多いとされている。
- カルデラ近傍から遠方までの層厚情報が得られた地域は、カルデラ東方のみであるとされている。
- 火砕流堆積物の流下方向や層厚情報の粗密から分布域を、①東～南方、②西方、③北方の3つのエリアに区分して、エリアごとに層厚を推定したとされている (次頁図参照)。
- 東～南方エリアでは、火砕流堆積物は面的に分布傾向するのに対して西方エリアと北方エリアでは火砕流堆積物は谷沿いを流下しており堆積傾向が異なっているとされている。

(東～南方地域)

- 東～南方地域のうち、特にカルデラ東方ではボーリング調査等が多く実施されており、層厚情報が得られているとされている。
- カルデラの近傍から遠方まで連続的に層厚情報が得られている千歳川周辺のエリアを対象に層厚分布を解析したとされている。
- 火口近傍の層厚データは限られているものの、全体の傾向として近傍～24km付近では火口からの距離に応じた層厚の減少は小さく、24km～遠方では層厚の減少が大きいことがわかるとされている (P498左上図参照)。

(西方地域: 敷地方向)

- カルデラの西方地域では、正確な位置がわかる層厚情報が得られていないため、地域地質図幅の記載や地形などから支笏火砕流堆積物の層厚を推定したとされている。
- 5万分の1地質図幅及び同説明書「壮溪珠」(北海道開発庁, 1954) には、支笏火山噴出物は「支笏泥溶岩 (Tm)」として記載されており、カルデラ近傍で最大100m、長流川上流では40m、愛地付近では20～25m、新大滝駅北東で20～30m、オエロン信号所東方では10～20mで、他の地域では10m以下とされている。
- この情報をもとに層厚情報をプロットし、等層厚線図を作成しているとされている (P498左下図参照)。

(北方地域)

- カルデラ北方地域では、札幌市街近郊ではボーリングデータが比較的多いものの、火口近傍から中流域にかけては、層厚情報がほとんどないとされている。
- そのため、地域地質図幅の断面図や地形などから支笏火砕流堆積物の層厚を推定したとされている。
- 地質図幅をもとに支笏火砕流堆積物の層厚情報をプロットし、等層厚線図を作成しているとされている (P498右図参照)。

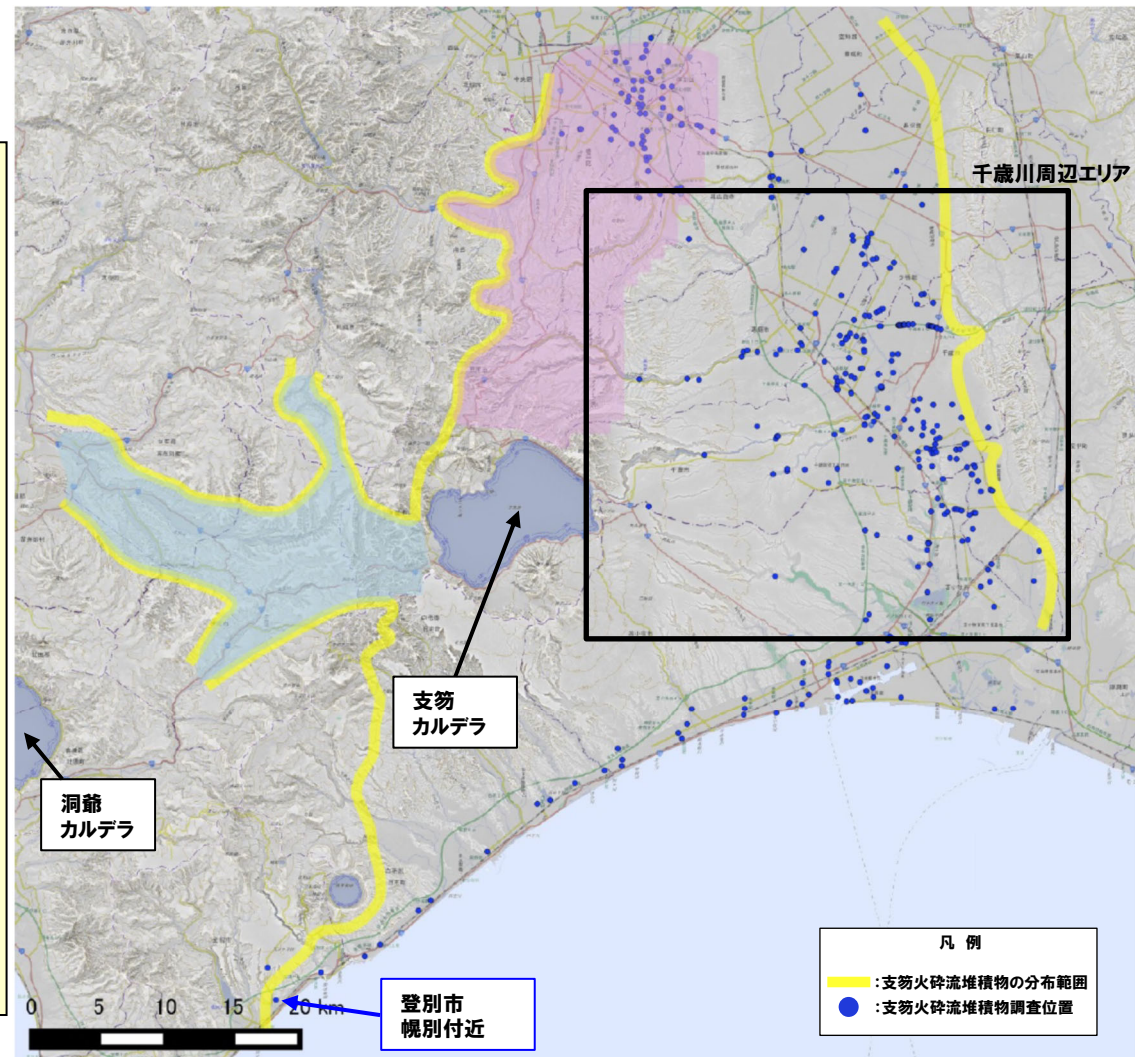
①-1 山元 (2016) (2/3)

再掲 (R5/1/20審査会合)

(前頁からの続き)



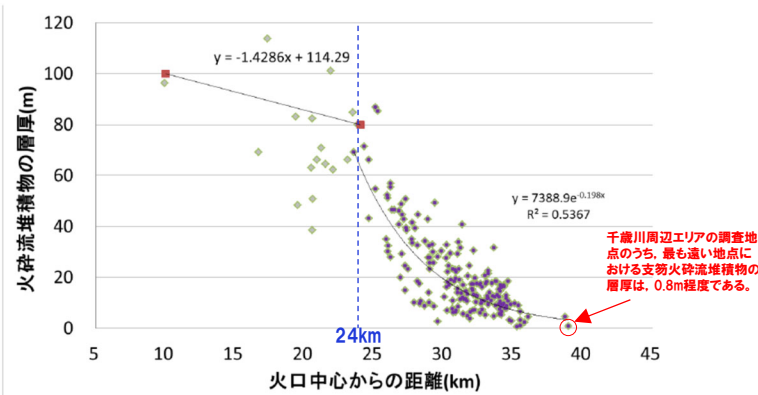
- 支笏カルデラの東～南方地域においては、カルデラ近傍から遠方までの層厚情報が多く得られており、カルデラの近傍から遠方まで連続的に層厚情報が得られている千歳川周辺のエリアについては、支笏カルデラからの距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。
- 当該エリアの調査地点のうち、支笏カルデラからの最大到達地点(登別市幌別付近)における支笏火砕流堆積物の層厚は、0.8m程度である。
- 支笏カルデラから敷地方向である支笏カルデラの西方地域においては、正確な位置がわかる層厚情報は認められないものの、地質図幅等から推定した等層厚線を踏まえると、支笏カルデラからの距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。
- また、支笏火砕流堆積物の5mの等層厚線は、尻別岳北東まで描かれている。
- 支笏カルデラの北方地域においては、火口近傍から中流域にかけて層厚情報がほとんどないものの、地質図幅等から推定した等層厚線を踏まえると、支笏カルデラからの距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。



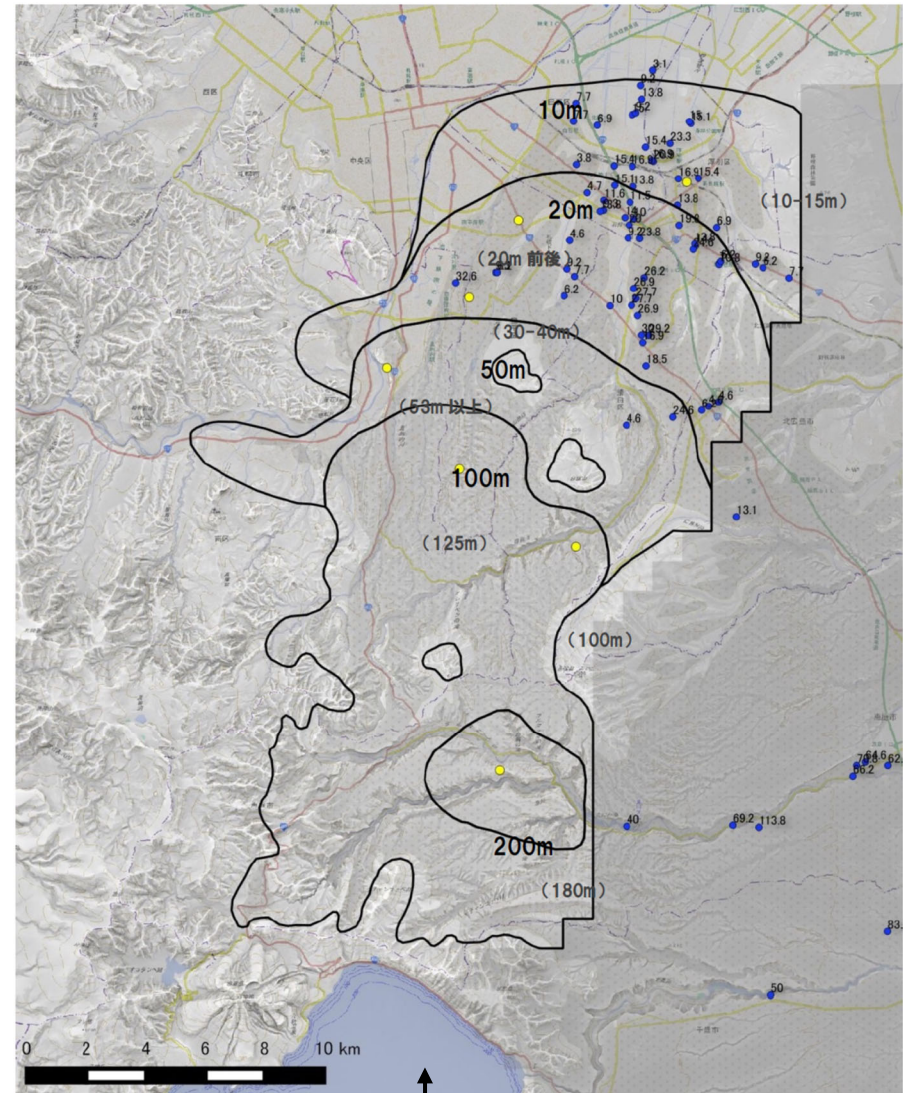
支笏火砕流堆積物の層厚推定範囲の区分
(ピンク部が北方地域, 水色部分が西方地域, 残りが東～南方地域)
(山元 (2016) に加筆)

①-1 山元 (2016) (3/3)

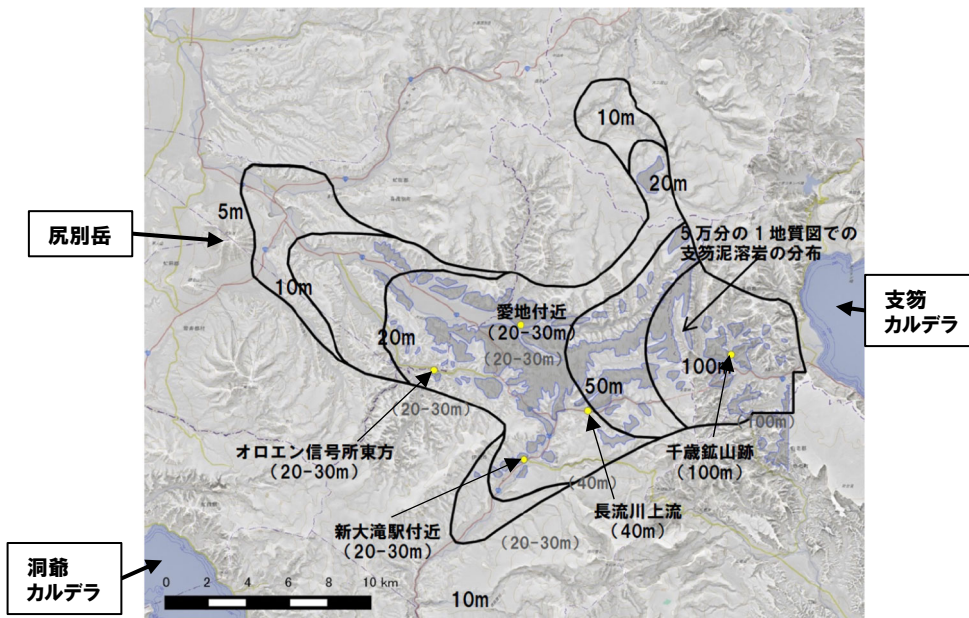
再掲 (R5/1/20審査会合)



東～南方地域 (千歳川周辺エリア) における火口からの距離と支笏火砕流堆積物の層厚 (山元 (2016) に加筆)



北方地域の支笏火砕流堆積物の層厚分布 (山元 (2016) に加筆)



西方地域の支笏火砕流堆積物の層厚分布 (山元 (2016) に加筆)

余白

①-2 宝田ほか(2022)(1/5)

○支笏火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係について確認するため、最新の野外地質調査と既存文献調査に基づき、支笏火砕流堆積物の分布と層厚情報を網羅的に整理している宝田ほか(2022)をレビューした。

【宝田ほか(2022)】

- 最新の野外地質調査と既存文献調査に基づき、同堆積物の現存分布範囲、堆積原面高度、層厚、最大軽石粒径、軽石長軸配列方向の分布をまとめたとされている。
 - 同堆積物の分布図作成に当たっては、20万分の1日本シームレス地質図及び20万分の1日本火山図を基に、文献データや現地調査の結果を加えたとされている。
 - 既往地質図によっては同堆積物の分布を描画していない薄層部等は、データを補完して同堆積物の表層分布域として描画したとされている。一方、縁辺部の小規模な分布域は露頭の位置を示す点で示しているとされている。
 - 火砕流堆積物の上位に厚い堆積物が被覆している地域では、掘削データ等に基づき推測した推定伏在分布域を示したとされている。一方、ボーリング記載のみから火砕流堆積物かその二次堆積物かを区別することは困難であるため、伏在推定域の分布限界には大きな不確実性が伴うとされている。
 - 同堆積物の層厚分布図作成に当たっては、山元(2016)による地表地質調査報告及びボーリングコア試料データのコンパイル結果に、現地調査による層厚データを加えたとされている。
- 同堆積物の層厚は、支笏カルデラ近傍で厚く、遠方に離れるにつれて減少するとされている。
- 支笏カルデラの中心から25km以遠の地域では、同堆積物の層厚は急激に減少し、35km以遠では層厚は5m以下になるとされている。

(北東～南方地域)

- 支笏カルデラの北東～東～南側では、石狩低地帯にかけて広く分布するとされ、カルデラの中心から約40kmの馬追丘陵付近まで追跡できるとされている。また、馬追丘陵の東側においても、小規模分布が報告されているとされている(次頁参照)。
- 支笏カルデラの南方では、海岸線まで分布しており、倶多楽カルデラ噴出物を覆って登別付近にまで分布するとされている。
- 支笏カルデラの南方では、カルデラの中心から約12kmの地点において層厚約120m、約22kmの白老付近で約40mとされている。

(西方地域:敷地方向)

- 支笏カルデラ西方では、山地地形に影響され、美笛峠から長流川及び尻別川上流部の谷地形に沿って分布するとされている(P503参照)。
- 支笏カルデラ西方では、尻別川の谷に沿って標高約300m付近まで同堆積物が分布するとされている。
- 支笏カルデラ西方では、同堆積物の分布が断片的であり、かつ侵食が進んでいるため層厚情報は少ないが、カルデラ中心から約12kmの旧千歳鉱山付近で層厚100m程度、約25km離れた尻別川上流部の喜茂別町双葉付近で層厚20～30mとされている。
- 羊蹄山周辺や伊達付近にも小規模な露出が認められるとされている(次頁参照)。

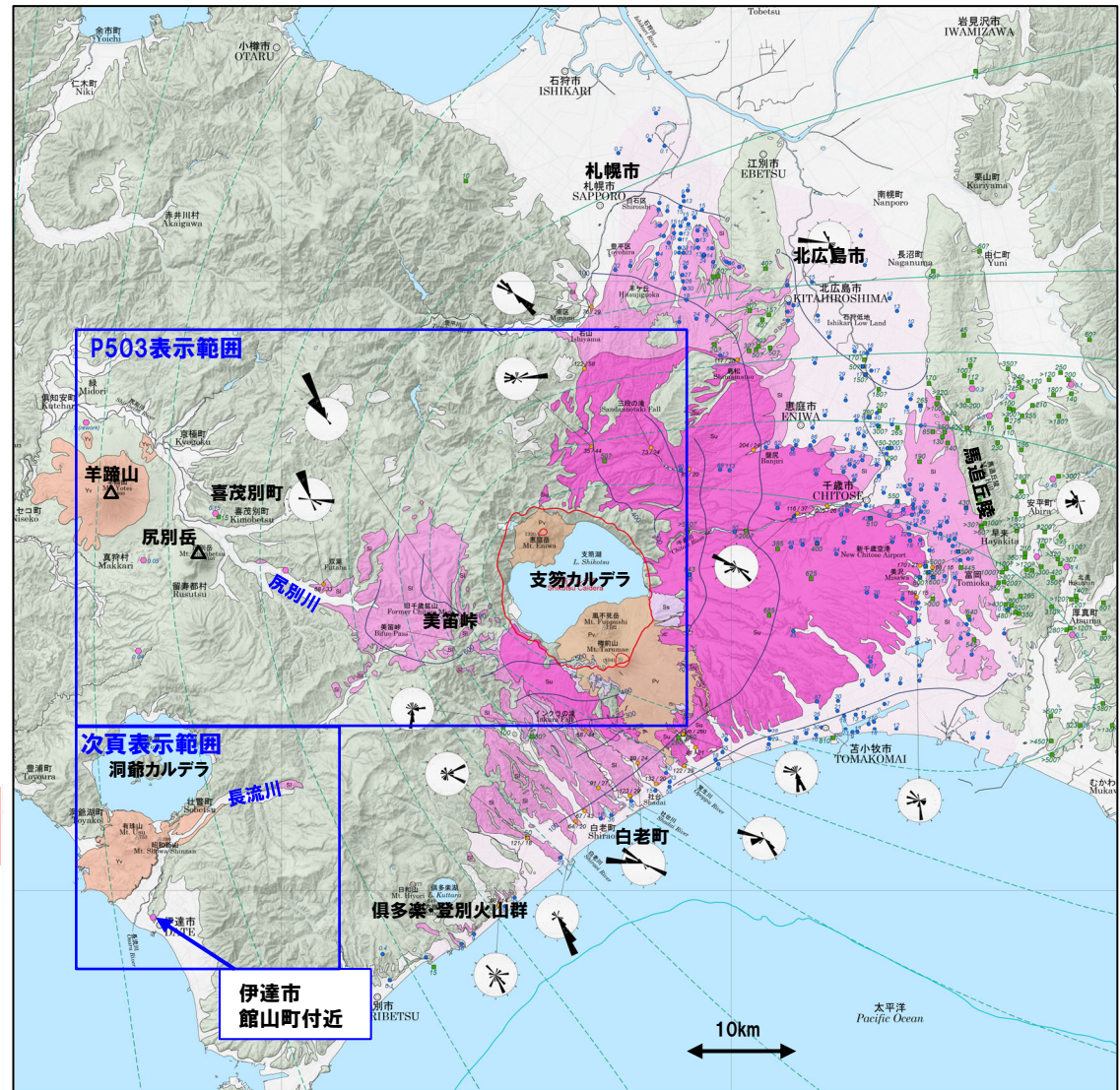
(北方地域)

- 支笏カルデラ北方では、札幌市南部～東部、北広島周辺に分布し、主にボーリングデータを基に、札幌市北東部では比較的薄い伏在堆積物が分布するとされている(次頁参照)。
- カルデラの中心から30km付近までは、厚いところで層厚100m以上になるとされている。さらに北方の札幌市街地付近では、同堆積物の層厚は減少し、豊平区羊ヶ丘付近の厚いところで層厚30m程度、白石区の地下では厚いところで層厚10～15mとされている。

①-2 宝田ほか (2022) (2/5)

(前頁からの続き)

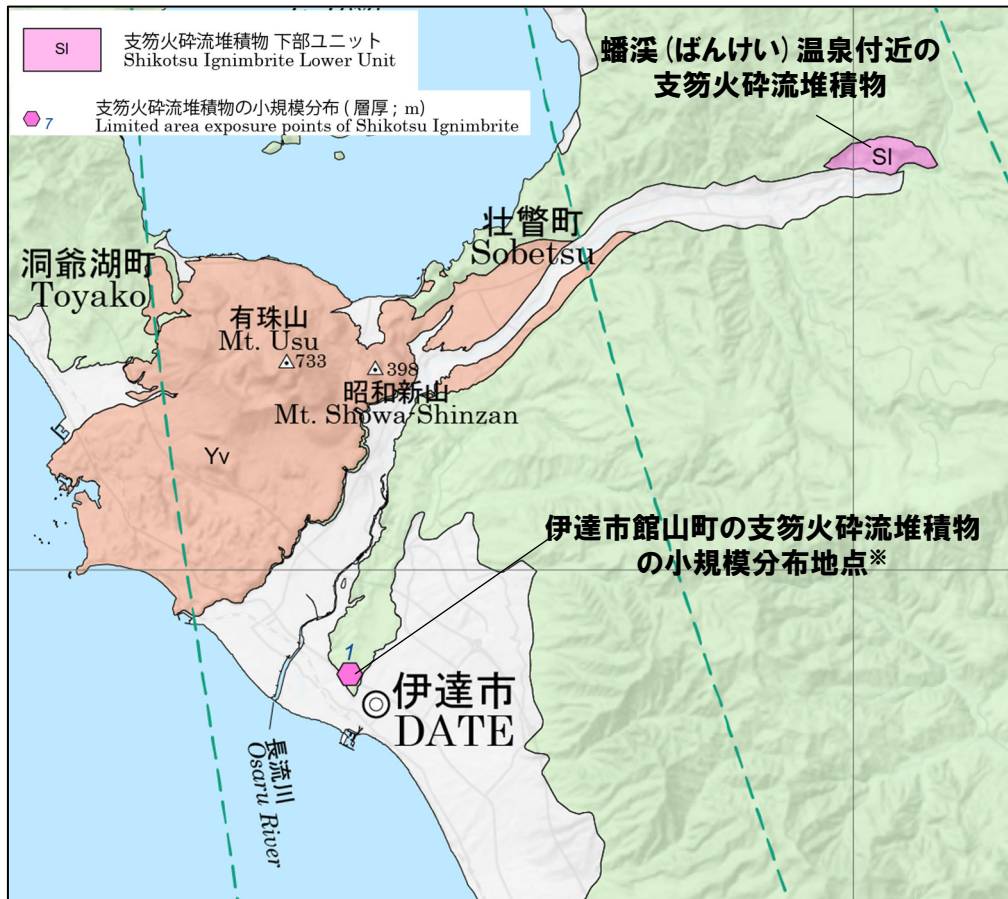
- 既往地質図及び山元 (2016) と比較して、支笏カルデラから北方、東方、西方について新たな小規模分布地点及び伏在分布地点が示され、支笏火砕流堆積物の分布範囲が従来より広がっている状況が認められる。
- 当該エリアの調査地点のうち、支笏カルデラからの最大到達地点 (伊達市館山町付近) における支笏火砕流堆積物の層厚は、1.0m程度である。
- 支笏カルデラの北方及び東方地域においては、複数の層厚情報が得られており、山元 (2016) と同様、支笏カルデラからの距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。
- 敷地方向である支笏カルデラの西方地域においては、羊蹄山南東側の真狩村付近まで認められるが、その層厚は5cm程度と小さく、距離の増加に応じ、支笏火砕流堆積物の層厚が小さくなる傾向が認められる。
- なお、真狩村付近より敷地方向の羊蹄山北側地点においては、尻別川沿いにrework (再堆積物) が示されており、その層厚は5mと比較的大きいものの、当該堆積物については、古倶知安湖に直接又は間接的に流入した支笏火砕流が、湖底に厚く堆積した堆積物と考えられる。



支笏火砕流堆積物の層厚分布 (単位: m) (宝田ほか (2022) に加筆)

<p>支笏カルデラ Shikotsu Caldera</p> <p>支笏カルデラ Shikotsu Caldera</p> <p>支笏カルデラ Shikotsu Caldera</p>	<p>埋立地、干拓地、沖積層、段丘堆積物、扇状地堆積物及び崖線堆積物 Reclaimed land, alluvium, terrace deposits, fan deposits, and talus deposits</p> <p>その他の火山噴出物 (羊蹄火山、ニセコ火山群及び倶知安火山群の一部、有珠火山) Other volcanic eruption products (Yaguchi Volcano, Niseko Volcano Group and part of Yotei Volcano, Niseko Volcano Group and Kutaru Volcano)</p> <p>後カルデラ火山噴出物 (樽前火山、喜望峯火山及び黒不死火山) Post caldera eruption products (Tsurumae Volcano, Eniwa Volcano and Fuppushi Volcano)</p>	<p>支笏火砕流堆積物の小規模分布 (層厚: m) Limited area exposure points of Shikotsu Ignimbrite</p> <p>支笏火砕流堆積物の層厚 (ボーリングコア及び現地調査による: 層厚: m) Thickness observation point of Shikotsu Ignimbrite based on borehole and field survey (thickness: m)</p> <p>支笏火砕流堆積物中の軽石・石質岩片の最大粒径 (軽石/岩片: mm) Observation point of measured maximum pumices and lithic sizes in Shikotsu Ignimbrite (pumice/lithic: mm)</p> <p>軽石の長軸卓越方向 (ローズダイヤグラム: 円周で集中度約17%、風向きは各軽石の伸長方向) Preferred orientation of measured elongated pumices shown on the rose diagram (concentration ratio is about 17% on the outer circle) and Schmidt net</p> <p>支笏第1降下テフラの層厚 (cm: ? は推定値) Thickness of Shikotsu Tephra Fall Deposit 1 (cm: question mark indicates estimated value)</p> <p>支笏第1降下テフラの等層厚線 (層厚: cm: ? は推定部分) Isoach of Shikotsu Tephra Fall Deposit 1 (thickness: cm), broken line indicates estimated part</p> <p>カルデラ縁 (支笏カルデラ) 火口 (樽前火山及び喜望峯火山) Caldera rim (Shikotsu Caldera) Crater (Tsurumae Volcano and Eniwa Volcano)</p> <p>支笏火砕流堆積物の堆積原位の等高線 (m) Reconstructed surface level of Shikotsu Ignimbrite (m)</p> <p>支笏火砕流噴出時の海水準高度 (現海抜高度 -80 m) Sea level at the time of Shikotsu Eruption (-80 m of present sea level)</p>
<p>支笏カルデラ上部ユニット Shikotsu Ignimbrite Upper Unit</p> <p>支笏カルデラ堆積物下部ユニット Shikotsu Ignimbrite Lower Unit</p> <p>社会火砕流堆積物 Shadai Pyroclastic Flow Deposit</p> <p>支笏噴火以前の第四紀火山噴出物、堆積物及び先第四系 Quaternary volcanic products and sediments before Shikotsu Eruption and Pre-Quaternary Geological units</p> <p>支笏火砕流堆積物推定伏在域 Estimated concealed area of Shikotsu Ignimbrite</p>	<p>Su</p> <p>Si</p> <p>Ss</p> <p>140</p> <p>200</p> <p>300</p>	<p>7</p> <p>25</p> <p>40/63</p> <p>17%</p> <p>1cm</p> <p>cm</p> <p>m</p> <p>m</p> <p>m</p>

①-2 宝田ほか(2022)(3/5)



支笏火砕流分布図のうち伊達市付近の拡大図 (宝田ほか(2022)に加筆)

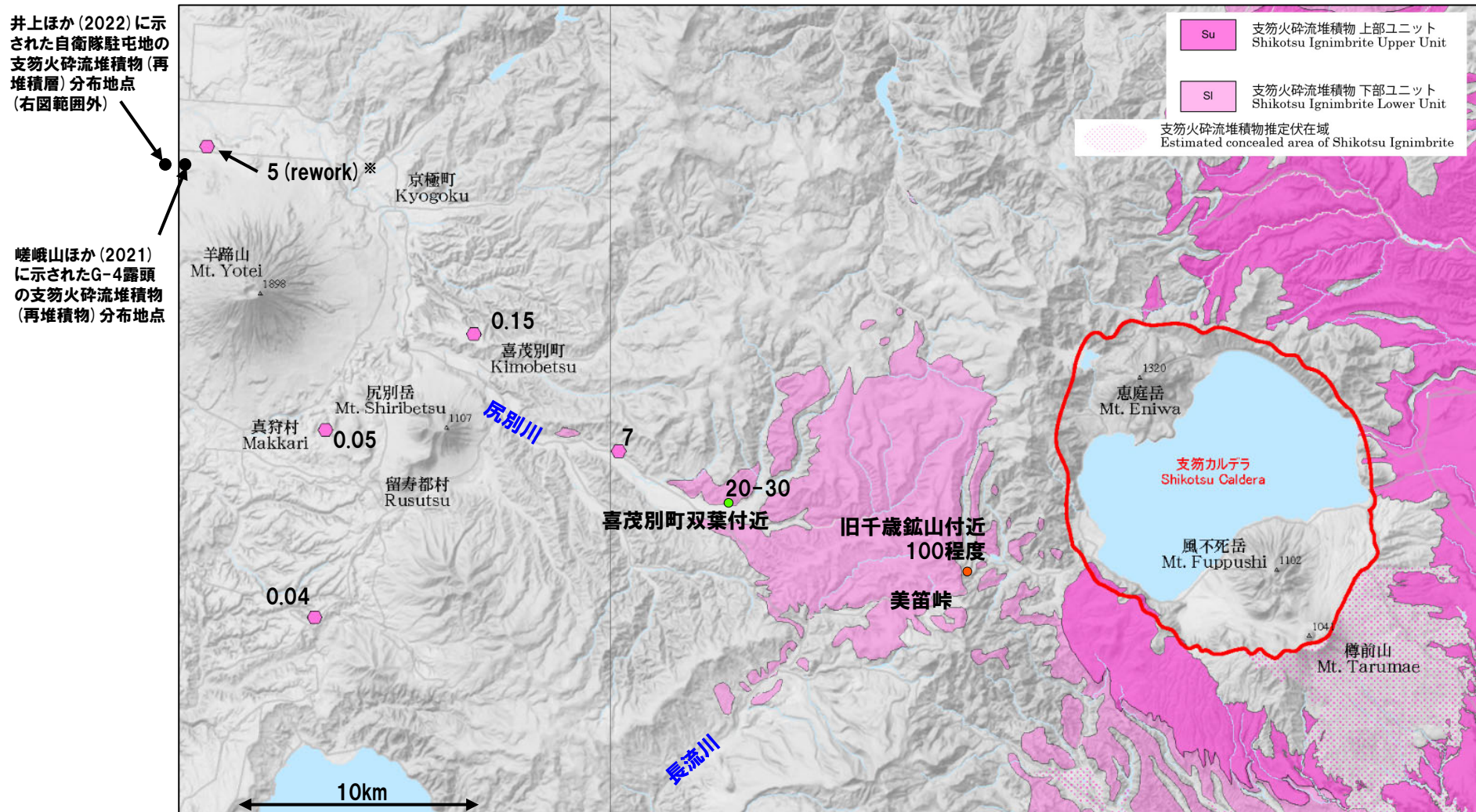
【伊達市館山町に認められる支笏火砕流堆積物について】

- 当該地点は、最新の野外地質調査と文献調査に基づき、支笏火砕流堆積物の現存分布範囲及び層厚等をまとめた宝田ほか(2022)において支笏火砕流堆積物とされていることから、当該地点を支笏火砕流堆積物の最大到達地点として扱う。
- 当該地点の支笏火砕流堆積物については、町田ほか(1987)の「1a地点」及び山縣・町田(1996)の「WS-13-2地点」に対応すると考えられ、以下の文献に記載がなされている。
 - ・町田ほか(1987)によれば、伊達市館山町の支笏火砕流堆積物について、クロスラミナが発達し炭化木を含む火砕流堆積物とみられるテフラ層とされている。
 - ・山縣・町田(1996)によれば、伊達市館山町の支笏火砕流堆積物について、ラミナをもつ或いはその上部にはクロスラミナが顕著に発達した部分が認められるとされている。
 - ・町田・新井(2011)では、支笏火砕流堆積物について、当該地点を含む伊達市館山町付近を通る長流川沿いに支笏火砕流堆積物の分布が示されている。
- 一方で、支笏火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係をまとめている山元(2016)によれば、支笏火砕流堆積物の分布に当該地点が含まれていない。
- また、長流川沿いの露頭調査を実施しているGoto et al.(2018)においても、洞爺火砕流堆積物及びKt-2(降下軽石)は記載されているが、その上位に支笏火砕流堆積物は記載されていない。

【R5.1.20審査会合時点(宝田ほか(2022)発刊以前)における、伊達市館山町地点の当社評価】

- 町田ほか(1987)及び山縣・町田(1996)によって、当該地点の堆積物がクロスラミナを伴うと記載されていることから、火砕流本体ではなく二次堆積物である可能性も考えていた。
- このため、山元(2016)及びGoto et al.(2018)においても当該地点を支笏火砕流分布地点として示していなかったことも踏まえ、支笏火砕流の最大到達地点として評価していなかった。

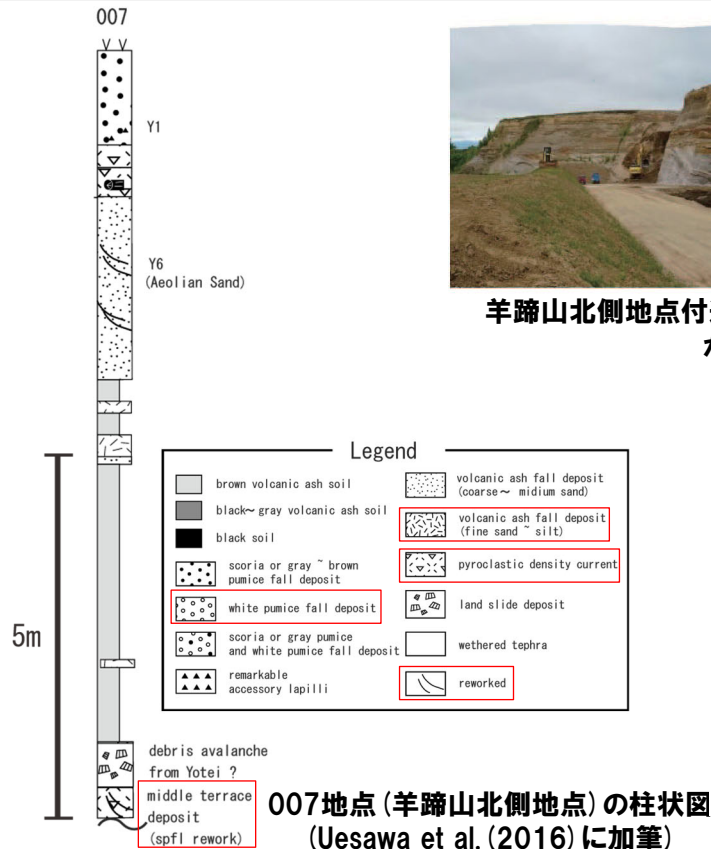
①-2 宝田ほか(2022)(4/5)



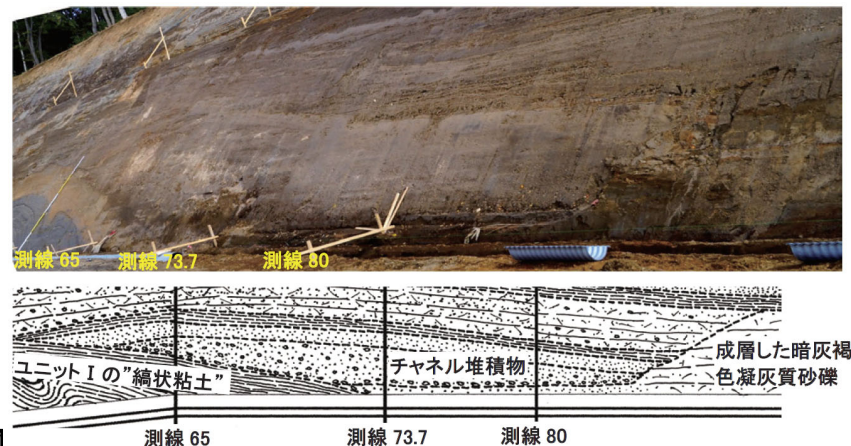
支笏カルデラから西方(敷地方向)の支笏火砕流堆積物の層厚分布(同文献の説明書内に記載のある旧千歳鉱山付近と喜茂別町双葉付近の層厚情報を追記)(数字の単位はm, 宝田ほか(2022)に加筆)

※当該地点の支笏火砕流堆積物は、宝田ほか(2022)においてはreworkとされているが、他文献のレビューも踏まえると、古倶知安湖に直接又は間接的に流入した支笏火砕流が、湖底に厚く堆積した堆積物と考えられる(次頁参照)。

①-2 宝田ほか (2022) (5/5)



羊蹄山北側地点付近の土取場 (G-4露頭) に認められる斜層理を呈する淘汰不良な、火山灰と軽石からなる堆積物 (Spflの再堆積物と解釈) (嵯峨山ほか,2021)



自衛隊駐屯地の露頭に認められるSpflの軽石を含むチャンネル堆積物 (Spflの再堆積層と解釈) (井上ほか,2022)

【羊蹄山北側地点の支笏火砕流堆積物 (rework) について】

- 宝田ほか (2022) によれば、羊蹄山北側地点において、支笏火砕流堆積物 (Spfl) のrework (層厚5m) が認められるとされ、その記載は、Uesawa et al. (2016) の007地点及びNakagawa et al. (2016) のSTOP3-3に対応するものと考えられる (本頁左図参照)。
 - Uesawa et al. (2016) によれば、当該堆積物は中位段丘堆積物を構成する支笏火砕流堆積物の再堆積層 (Spfl rework) とされている (本頁左図参照)。
 - Nakagawa et al. (2016) によれば、当該地点はSpflに対比される軽石と火山灰で構成され、堆積物にはクロスラミナ構造及び軽石は丸みを帯び、インプリケーションが認められるとされている。以上の層相から、かつて存在した湖に火砕流が直接又は間接的に流入したことが示唆されるとされている。
 - 嵯峨山ほか (2020, 2021) によれば、当該地点を含む倶知安付近は、支笏火砕流到達当時、湖 (古倶知安湖) が存在していたとされている。
 - 嵯峨山ほか (2021) によれば、羊蹄山北側地点付近の土取場 (G-4露頭、Uesawa et al. (2016) の007地点の約1.5km西方) において、斜層理を呈する淘汰不良な、火山灰と軽石からなる堆積物が認められ、火山灰分析を基に、当該堆積物を支笏火砕流堆積物 (Spfl) の再堆積物と解釈したとされている (本頁右上図参照)。
 - 井上ほか (2022) においては、倶知安町高砂の自衛隊駐屯地 (Uesawa et al. (2016) の007地点の約3.5km西方) において、支笏火砕流堆積物 (Spfl) 由来の軽石を含む成層した凝灰質砂礫層が認められ (本頁右下図参照)、シルト層や砂層が挟在及びチャンネル構造が認められることから、当該堆積物は古倶知安湖に流入した支笏火砕流堆積物 (Spfl) の再堆積層と解釈したとされている。
- ・上記の論文を踏まえると、当該堆積物が軽石を含む本質物で構成され、流水に伴う堆積構造等を示すことから、支笏火砕流が古倶知安湖に直接又は間接的に流入し、湖底に厚く堆積した堆積物と考えられる。

② 洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係

一部修正 (R5/1/20審査会合)

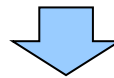
- 洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係については、これまで(R3.10.14審査会合以前)、町田ほか(1987)及び当社地質調査結果を用いて検討を実施し、距離の増加に応じ層厚が小さくなるといったような明瞭な相関は認められないと評価していた。
- R3.10.14審査会合以降、Goto et al.(2018)、Amma-Miyasaka et al.(2020)及び産業技術総合研究所(2021)に示された洞爺火砕流堆積物(火砕サージ堆積物を含む)が確認されている地点を追加し、改めて検討を実施した。
- また、洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係を示している産業技術総合研究所(2018)についても、追加で文献レビューを実施した。

【当社地質調査並びに町田ほか(1987)、Goto et al.(2018)、Amma-Miyasaka et al.(2020)及び産業技術総合研究所(2021)による検討結果】(次頁～P509参照)

- 当社地質調査並びに町田ほか(1987)、Goto et al.(2018)、Amma-Miyasaka et al.(2020)及び産業技術総合研究所(2021)に基づく、洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係には、洞爺カルデラから概ね敷地方向(北～北西方向)に位置する地点に限定した場合、明瞭な傾向は認められないものの、洞爺カルデラからの方向は考慮せず、全地点のデータを踏まえると、距離の増加に応じ層厚が小さくなる傾向が認められる。

【産業技術総合研究所(2018)のレビュー結果】(P510～P511参照)

- 産業技術総合研究所(2018)に基づく、地形計測からの層厚推定を含むものの、洞爺カルデラからの全方向の層厚データを整理した結果、洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚には、距離の増加に応じ層厚が小さくなる傾向が認められる。



- 当社地質調査及び文献調査による検討の結果、洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係には、洞爺カルデラから概ね敷地方向(北～北西方向)に位置する地点に限定した場合、明瞭な傾向は認められないが、層厚データの不確かさ(火砕流堆積物の基底が確認されていないため、明確な層厚は計測できない等)及び産業技術総合研究所(2018)のレビュー結果を踏まえると、大局的には、距離の増加に応じ層厚が小さくなる傾向が認められる。

7. 支笏火砕流堆積物及び洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚に関する検討

②-1 当社地質調査及び文献調査による検討結果 (1/4)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

○洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係については、これまで、町田ほか(1987)及び当社地質調査結果を用いて検討を実施し、距離の増加に応じ層厚が小さくなるといったような明瞭な相関は認められないと評価していた。

○R3.10.14審査会合以降、Goto et al. (2018), Amma-Miyasaka et al. (2020) 及び産業技術総合研究所 (2021) に示された洞爺火砕流堆積物(火砕サージ堆積物を含む)が確認されている地点を追加し、改めて検討を実施した。

○各調査地点の位置をP508~P509に、洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚のグラフを次頁に示す。



○当社地質調査並びに町田ほか(1987), Goto et al. (2018), Amma-Miyasaka et al. (2020) 及び産業技術総合研究所 (2021) に基づくと、洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係には、洞爺カルデラから概ね敷地方向(北~北西方向)に位置する地点に限定した場合、明瞭な傾向は認められないものの、洞爺カルデラからの方向は考慮せず、全地点のデータを踏まえると、距離の増加に応じ層厚が小さくなる傾向が認められる。

- ※1 「1 c.伊達市館山国道沿い」, 「1 d.黒松内町上大成」及び「1 h.岩内町幌似」地点は、pfl (pyroclastic flows (火砕流)) の層厚を、それ以外の地点は、afa (ash falls (火山灰)) 及びpflの層厚を記載している。
- ※2 洞爺火砕流堆積物の層厚が明記されているものについてはその値を、明記されていないものについては本文献に示される柱状図から当社が読み取った値を記載している。
- ※3 Loc.18 (大間) に認められる堆積物は、洞爺火砕流のco-ignimbrite ashであるとされていることから、本検討から除外した。
- ※4 敷地近傍における洞爺火砕流堆積物の分布状況に関する検討において、共和町幌似付近で実施したボーリング調査のうち、洞爺火砕流堆積物の最大の層厚が確認されるB-5地点についても、本検討の対象とした。
- ※5 火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係を示している山元(2016) (P496~P498参照) 及び産業技術総合研究所(2018) (P510~P511参照) においては、各カルデラの中心を起点として検討を実施していることから、本検討についても、洞爺カルデラの中心に位置する洞爺中島を起点として距離を算出した。

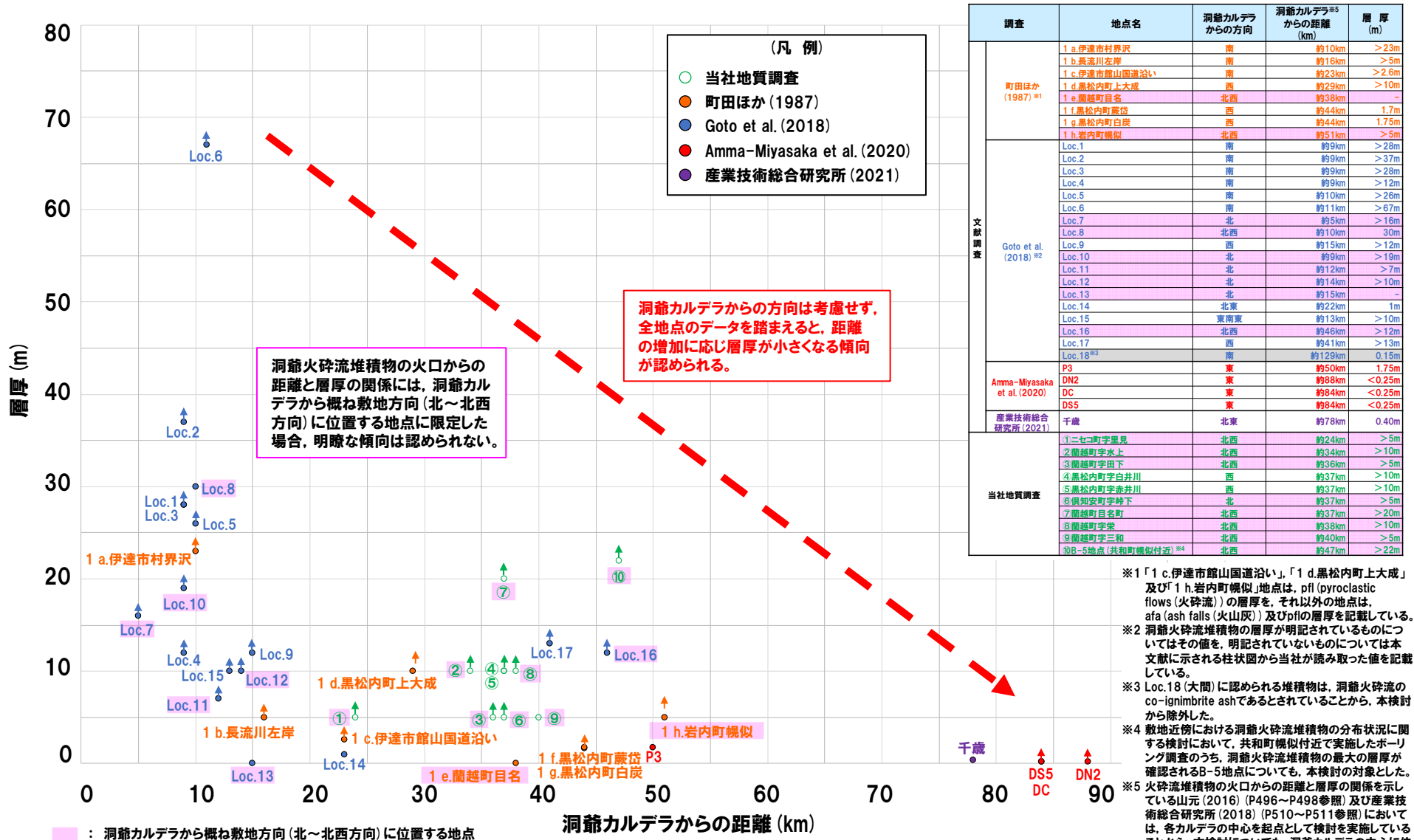
洞爺火砕流堆積物の洞爺カルデラからの距離と層厚

調査	地点名	洞爺カルデラからの方向	洞爺カルデラからの距離 (km)	層厚 (m)
町田ほか (1987) ※1	1 a.伊達市村界沢	南	約10km	>23m
	1 b.長流川左岸	南	約16km	>5m
	1 c.伊達市館山国道沿い	南	約23km	>2.6m
	1 d.黒松内町上大成	西	約29km	>10m
	1 e.蘭越町目名	北西	約38km	-
	1 f.黒松内町藤岱	西	約44km	1.7m
	1 g.黒松内町白炭	西	約44km	1.75m
	1 h.岩内町幌似	北西	約51km	>5m
文献調査 Goto et al. (2018) ※2	Loc.1	南	約9km	>28m
	Loc.2	南	約9km	>37m
	Loc.3	南	約9km	>28m
	Loc.4	南	約9km	>12m
	Loc.5	南	約10km	>26m
	Loc.6	南	約11km	>67m
	Loc.7	北	約5km	>16m
	Loc.8	北西	約10km	30m
	Loc.9	西	約15km	>12m
	Loc.10	北	約9km	>19m
	Loc.11	北	約12km	>7m
	Loc.12	北	約14km	>10m
	Loc.13	北	約15km	-
	Loc.14	北東	約22km	1m
	Loc.15	東南東	約13km	>10m
	Loc.16	北西	約46km	>12m
	Loc.17	西	約41km	>13m
	Loc.18 ※3	南	約129km	0.15m
Amma-Miyasaka et al. (2020)	P3	東	約50km	1.75m
	DN2	東	約88km	<0.25m
	DC	東	約84km	<0.25m
	DS5	東	約84km	<0.25m
産業技術総合研究所 (2021)	千歳	北東	約78km	0.40m
当社地質調査	①二セコ町字里見	北西	約24km	>5m
	②蘭越町字水上	北西	約34km	>10m
	③蘭越町字田下	北西	約36km	>5m
	④黒松内町字白井川	西	約37km	>10m
	⑤黒松内町字赤井川	西	約37km	>10m
	⑥倶知安町字峠下	北	約37km	>5m
	⑦蘭越町目名町	北西	約37km	>20m
	⑧蘭越町字栄	北西	約38km	>10m
	⑨蘭越町字三和	北西	約40km	>5m
	⑩B-5地点 (共和町幌似付近) ※4	北西	約47km	>22m

7. 支笏火砕流堆積物及び洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚に関する検討

②-1 当社地質調査及び文献調査による検討結果 (2/4)

一部修正 (R5/1/20審査会合)



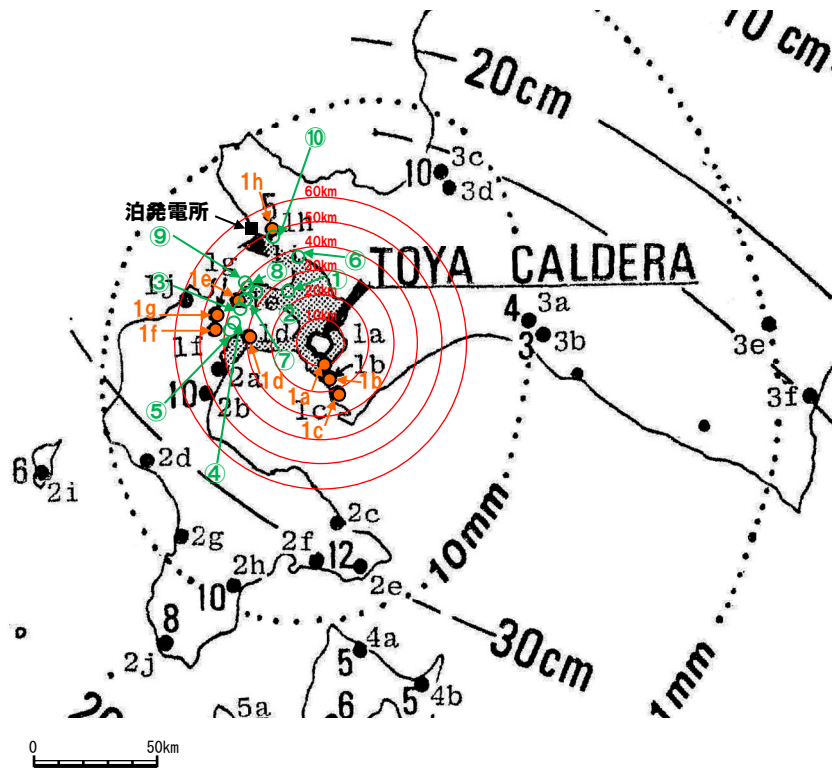
洞爺火砕流堆積物の洞爺カルデラからの距離と層厚 (当社地質調査結果並びに町田ほか (1987), Goto et al. (2018), Amma-Miyasaka et al. (2020) 及び産業技術総合研究所 (2021) に基づき作成)

調査	地点名	洞爺カルデラからの方向	洞爺カルデラからの距離 (km)	層厚 (m)	
町田ほか (1987) *1	1 a.伊達市村界沢	南	約10km	>23m	
	1 b.長流川左岸	南	約16km	>5m	
	1 c.伊達市館山国道沿い	南	約23km	>2.6m	
	1 d.黒松内町上大成	西	約29km	>10m	
	1 e.蘭越町目名	北西	約38km	-	
	1 f.黒松内町藤皮	西	約44km	1.7m	
	1 g.黒松内町白炭	西	約44km	1.75m	
	1 h.岩内町幌似	北西	約51km	>5m	
	Goto et al. (2018) *2	Loc.1	南	約9km	>28m
		Loc.2	南	約9km	>37m
		Loc.3	南	約9km	>28m
		Loc.4	南	約9km	>12m
		Loc.5	南	約10km	>26m
		Loc.6	南	約11km	>67m
		Loc.7	北	約5km	>16m
		Loc.8	北西	約10km	30m
		Loc.9	西	約15km	>12m
Loc.10		北	約9km	>19m	
Loc.11		北	約12km	>7m	
Loc.12		北	約14km	>10m	
Loc.13		北	約15km	-	
Loc.14		北東	約22km	1m	
Loc.15		東南東	約13km	>10m	
Loc.16		北西	約46km	>12m	
Loc.17		西	約41km	>13m	
Loc.18	南	約129km	0.15m		
Amma-Miyasaka et al. (2020) *3	P3	東	約50km	1.75m	
	DN2	東	約88km	<0.25m	
	DC	東	約84km	<0.25m	
	DS5	東	約84km	<0.25m	
産業技術総合研究所 (2021)	千歳	北東	約78km	0.40m	
	当社地質調査	①ニセコ町字星見	北西	約24km	>5m
		②蘭越町字水上	北西	約34km	>10m
		③蘭越町字田下	北西	約36km	>5m
		④黒松内町字白井川	西	約37km	>10m
		⑤黒松内町字赤井川	西	約37km	>10m
		⑥根知安町字峠下	北	約37km	>5m
		⑦蘭越町目名町	北西	約37km	>20m
		⑧蘭越町字栄	北西	約38km	>10m
		⑨蘭越町字三和	北西	約40km	>5m
⑩B-5地点 (共和町幌似付沢) *4		北西	約47km	>22m	

*1 「1 c.伊達市館山国道沿い」, 「1 d.黒松内町上大成」及び「1 h.岩内町幌似」地点は、pfl (pyroclastic flows (火砕流)) の層厚を、それ以外の地点は、afa (ash falls (火山灰)) 及びpfilの層厚を記載している。
 *2 洞爺火砕流堆積物の層厚が明記されているものについてはその値を、明記されていないものについては本文に示される柱状図から当社が読み取った値を記載している。
 *3 Loc.18 (大間) に認められる堆積物は、洞爺火砕流のco-ignimbrite ashであるとされていることから、本検討から除外した。
 *4 敷地近傍における洞爺火砕流堆積物の分布状況に関する検討において、共和町幌似付近で実施したボーリング調査のうち、洞爺火砕流堆積物の最大の層厚が確認されるB-5地点についても、本検討の対象とした。
 *5 火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係を示している山元 (2016) (P496~P498参照) 及び産業技術総合研究所 (2018) (P510~P511参照) においては、各カルデラの中心を起点として検討を実施していることから、本検討についても、洞爺カルデラの中心に位置する洞爺中島を起点として距離を算出した。

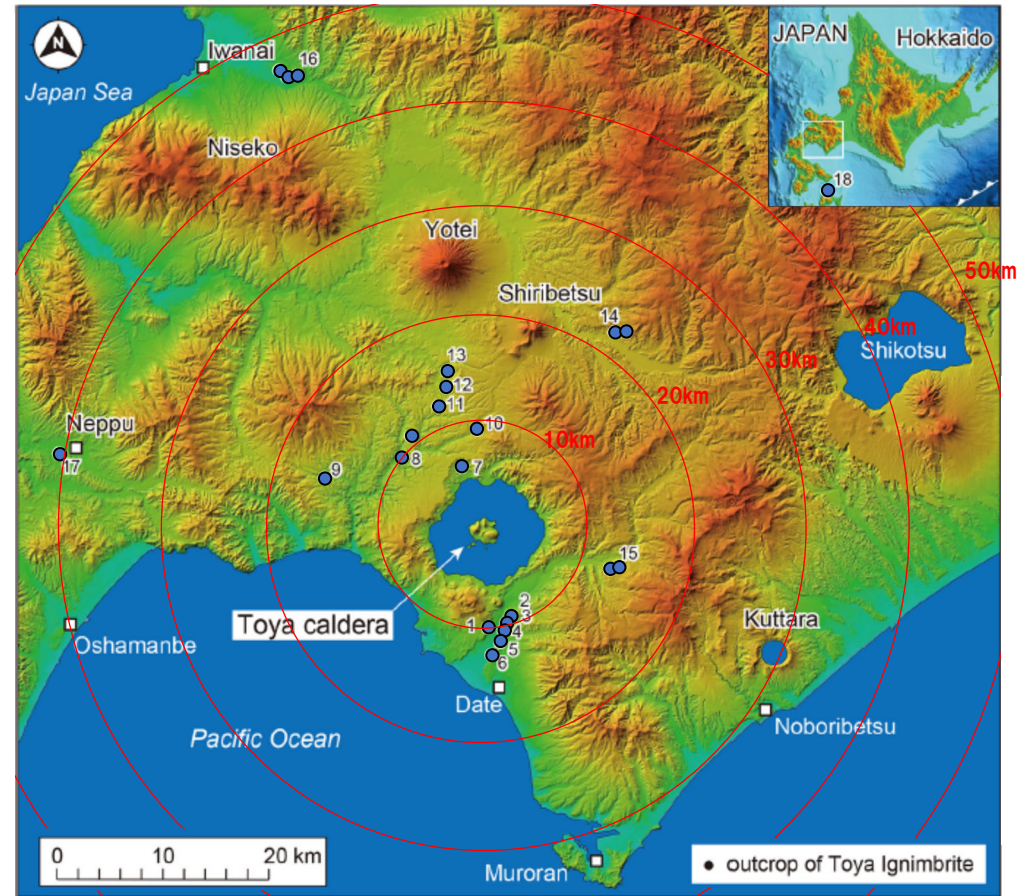
②-1 当社地質調査及び文献調査による検討結果 (3/4)

再掲 (R5/1/20審査会合)



- 洞爺火砕流堆積物の層厚確認地点 (町田ほか, 1987)
- 洞爺火砕流堆積物の層厚確認地点 (当社地質調査結果)

位置図 (町田ほか (1987) に加筆)

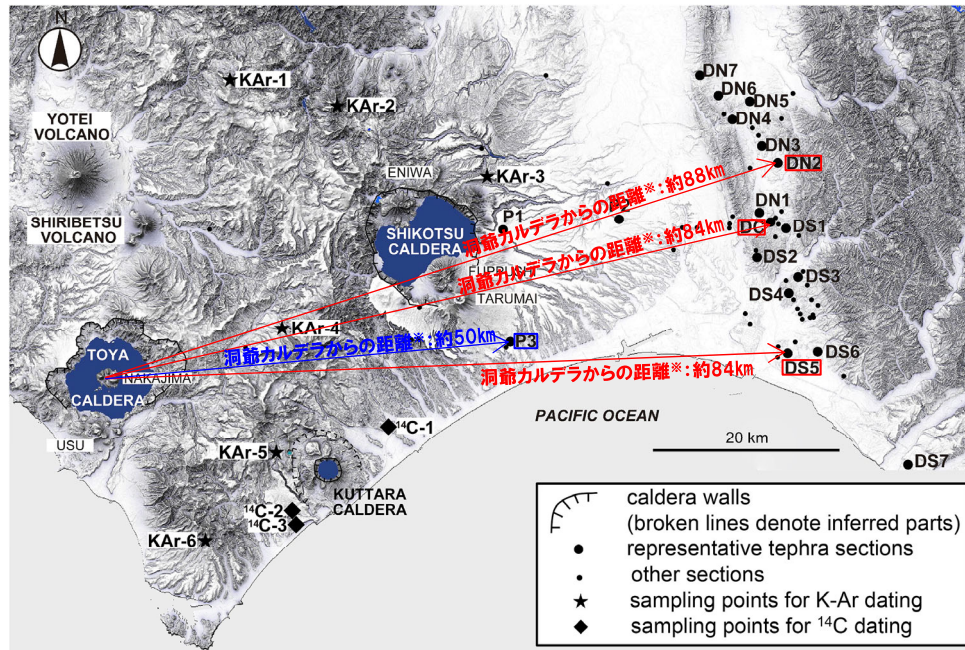


- 洞爺火砕流堆積物の層厚確認地点 (Goto et al., 2018)

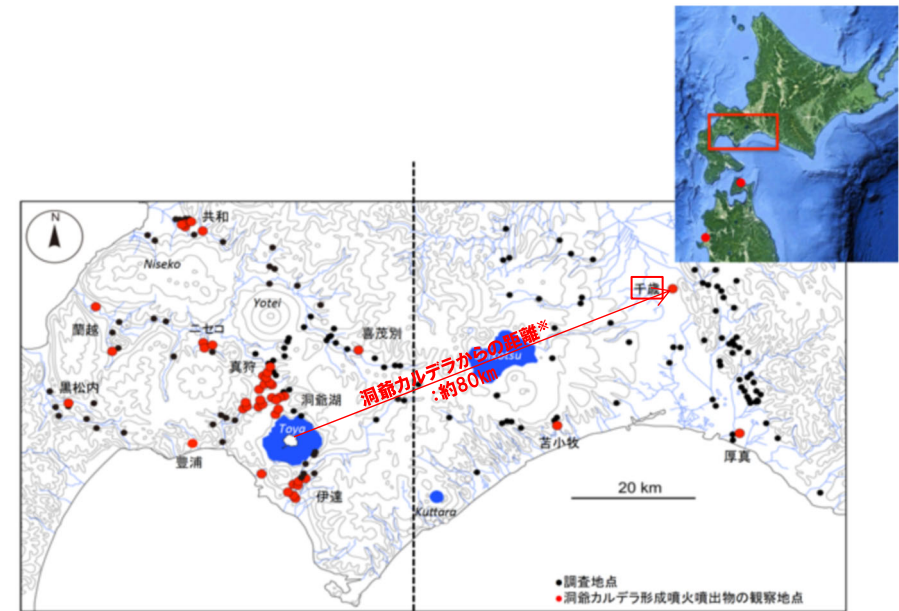
位置図 (Goto et al. (2018) に加筆)

②-1 当社地質調査及び文献調査による検討結果 (4/4)

一部修正 (R5/1/20審査会合)



調査地点 (Amma-Miyasaka et al. (2020) に加筆)



洞爺カルデラ形成噴火噴出物の調査地点 (産業技術総合研究所 (2021) に加筆)

- : 火砕流堆積物確認地点
- : 火砕サージ堆積物確認地点

※火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係を示している山元 (2016) (P496~P498参照) 及び産業技術総合研究所 (2018) (P510~P511参照) においては、各カルデラの中心を起点として検討を実施していることから、本検討についても、洞爺カルデラの中心に位置する洞爺中島を起点として距離を算出した。

②-2 産業技術総合研究所 (2018) (1/2)

再掲 (R5/1/20審査会合)

○洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚の関係を示している産業技術総合研究所 (2018) についても, R3.10.14審査会合以降, 追加で文献レビューを実施した。

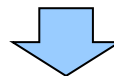
【産業技術総合研究所 (2018)】

(層厚データ)

- 層厚分布図の作成に用いる層厚データは, 収集・整理した文献を基に, 層厚が記載されているものはその値を採用したとされている。
- 露頭およびボーリング柱状図として上端深度, 下端深度, あるいは上端高度, 下端高度が記載されている場合は, それらから層厚を算出したとされている。
- 数値が記載されていないものの, 柱状図またはスケッチが図示されている場合は, 上端深度, 下端深度を読み取り (読み取り精度は 1/10m), それらから層厚を算出したとされている。
- また, 火砕流堆積物の現存分布範囲において火砕流台地など地形が明瞭な箇所では, 地形計測から層厚を推定したとされている。

(洞爺火砕流堆積物の層厚と噴火口からの距離との関係)

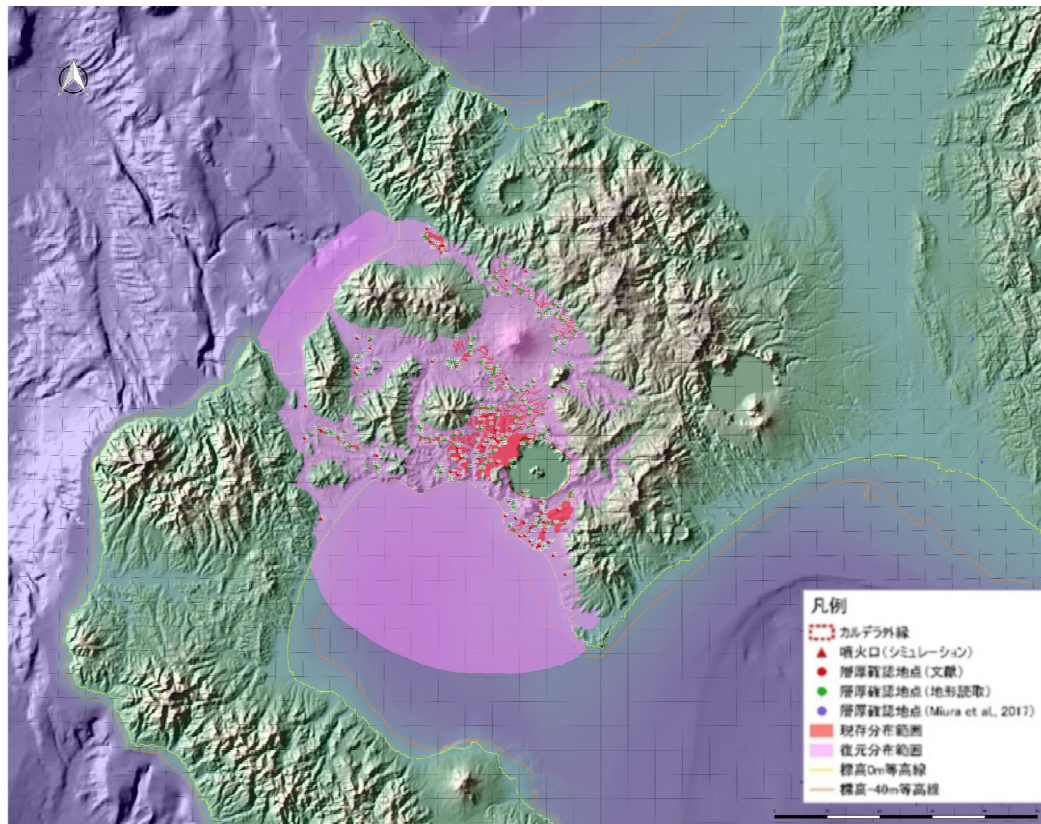
- 層厚の分布は, ばらつきが大きいものの, 噴火口から離れるにつれて小さくなる傾向が認められるとされている (次頁右上図 (a) 参照)。
- 層厚の分布がばらつく要因は, 層厚データに下限が規定されないもの (厚さが過小評価されているもの) を含むことが一つに挙げられるとされている。
- 噴火口からの距離を基準として2.5km区間ごとに集計した平均値と最大値を目的変数, 噴火口からの距離を説明変数とし, 最遠部で層厚が0mとなるようにデータを追加した線形モデルによる回帰分析を行うと, 両者には高い相関が認められたとされている (次頁右下図 (b) 参照)。



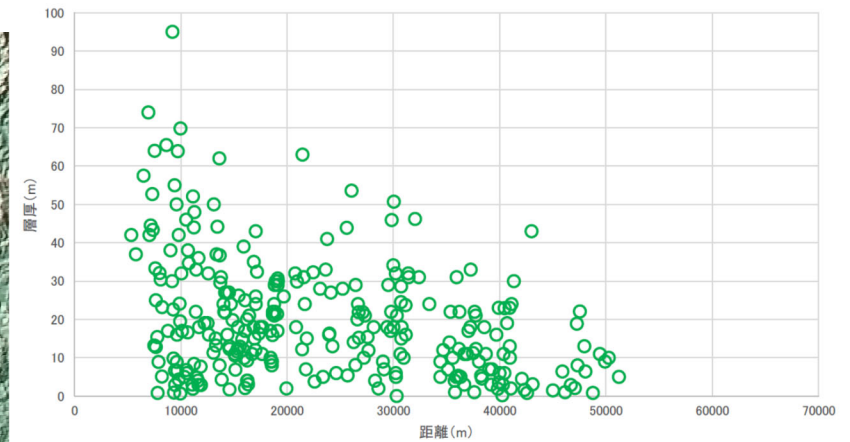
○産業技術総合研究所 (2018) に基づくと, 地形計測からの層厚推定を含むものの, 洞爺カルデラからの全方向の層厚データを整理した結果, 洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚には, 距離の増加に応じ層厚が小さくなる傾向が認められる。

②-2 産業技術総合研究所 (2018) (2/2)

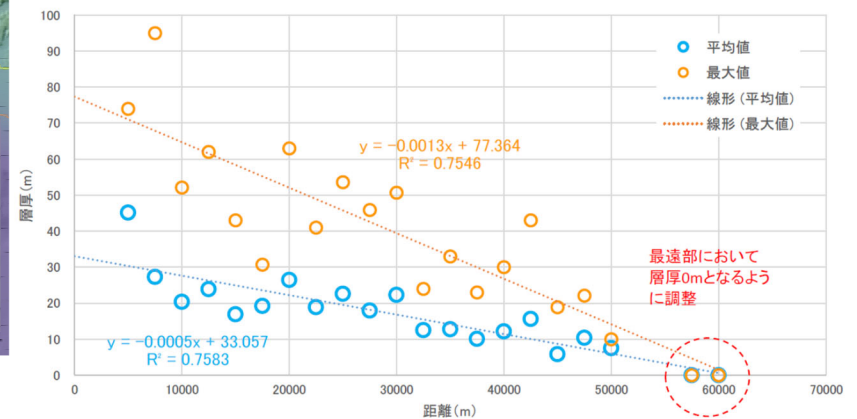
再掲 (R5/1/20審査会合)



洞爺火砕流堆積物の分布 (産業技術総合研究所, 2018)



(a) 全データ (カルデラ内を除く)



(b) 2.5km区間ごとの平均値と最大値

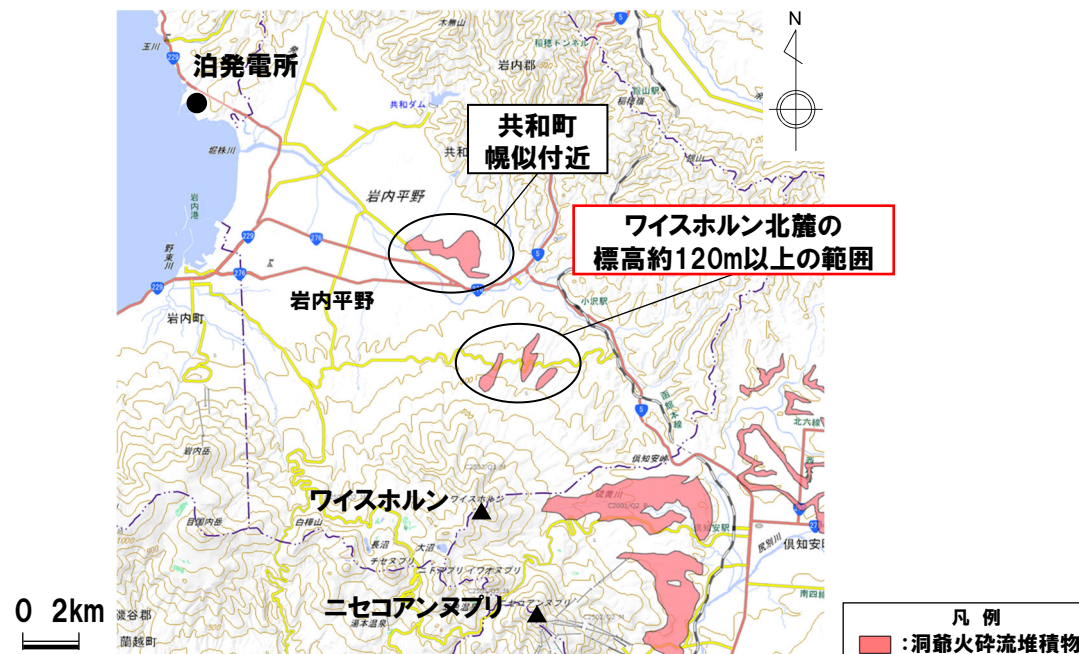
洞爺火砕流堆積物の層厚と噴火口からの距離との関係
(産業技術総合研究所, 2018)

1. 敷地及び敷地近傍の火山噴出物に関する検討	P. 9
2. 【敷地近傍(Ⅰ)】幌似周辺で実施したボーリング調査結果	P. 75
3. 【敷地近傍(Ⅰ)】老古美周辺において確認されるニセコ火山噴出物(火砕流堆積物)	P.121
4. 【敷地近傍(Ⅱ)】岩内平野西部で実施したボーリング調査結果	P.171
5. 【敷地近傍(Ⅲ)】積丹半島西岸における洞爺火砕流堆積物の有無に関する検討	P.225
6. 【敷地】敷地における火山噴出物の有無に関する検討	P.425
7. 支笏火砕流堆積物及び洞爺火砕流堆積物の火口からの距離と層厚に関する検討	P.493
8. ワイスホルン北麓の洞爺火砕流堆積物について	P.513
参考文献	P.522

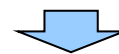
8. ワイスホルン北麓の洞爺火砕流堆積物について

文献レビュー (1/8)

- 洞爺火砕流堆積物は、産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)において、共和町幌似付近の他、ワイスホルン北麓の標高約120m以上の範囲に示されている。
- 当該範囲は、共和町幌似付近から堀株川を挟んで3km程度と近傍に位置するものの、共和町幌似付近の洞爺火砕流堆積物は上面標高約50mであり、その標高差は70m程度以上である。
- 当該範囲に分布する洞爺火砕流堆積物に関連する文献をレビューした。
- 文献レビューは、当該範囲において、ニセコ・雷電火山群を形成する岩体及びその碎屑物(火山碎屑物含む)と異なる堆積物が示されている新エネルギー総合開発機構(1987a), 同(1987b), 石田ほか(1991)及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)を対象とした(P516~P521参照)。



産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)に示されている洞爺火砕流堆積物の分布範囲
(産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)に加筆)



(次頁へ続く)

文献レビュー (2/8)



(前頁からの続き)

○ワイスホルン北麓の標高約120m以上の範囲に分布する堆積物の各文献における地層区分及びレビュー結果は以下のとおり。

文献	新エネルギー総合開発機構 (1987a) 及び同 (1987b)	石田ほか (1991)	産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020)
地層区分	真狩別層	留寿都層	洞爺火砕流堆積物
レビュー結果	<ul style="list-style-type: none"> 下部から褐色ローム, 明橙色降下軽石及び褐色ロームの順に壘重している。 有珠火山灰C層 (NUs-c) に対比され, 同層中の炭化木片の¹⁴C年代は >44,200年B.P.を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> 留寿都層の分布が示されている。 留寿都層は, 「軽石・火山灰・砂及び粘土, 軽石流堆積物を含む」とされている。 	<ul style="list-style-type: none"> 洞爺火砕流堆積物の分布が示されている。

○新エネルギー総合開発機構 (1987a) 及び同 (1987b) によると, 真狩別層中の明橙色降下軽石層は, 有珠火山灰C層「NUs-c」に対比される。NUs-cは山縣 (1994) において, 「Kt-2」と命名され, 倶多楽・登別火山群起源のテフラとされている。

○石田ほか (1991) における留寿都層は, 新エネルギー総合開発機構 (1987a) 及び同 (1987b) において真狩別層の下位に分布する地層で, 0.13 ± 0.03 MaのF.T法年代が得られている熱郭火砕流に対比される。熱郭火砕流は, 町田ほか (1987) において, 洞爺火砕流に対比されるとされている。

○ワイスホルン北麓の標高約120m以上の範囲に示された堆積物については, 文献における地層区分の変遷を踏まえると, 洞爺火砕流堆積物である可能性が高いと考えられる。

○一方で, 石田ほか (1991) 及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020) において, 洞爺火砕流堆積物とされている根拠が明記されていないこと並びに新エネルギー総合開発機構 (1987a) 及び同 (1987b) においては, 真狩別層と区分されており, 倶多楽・登別火山群起源のKt-2 (降下軽石) を含む堆積物である可能性も考えられることから, 今後地質調査を実施し, その結果については別途報告する。

文献レビュー (3/8)

【新エネルギー総合開発機構 (1987a) 及び同 (1987b)】

○新エネルギー総合開発機構 (1987a)「地熱調査成果図集」及びその説明書である同 (1987b)「ニセコ地域火山地質図 ニセコ地域地熱地質編図 説明書」(以降、文献a及び文献bと呼称する)をレビューした。

(文献a)

- ・ワイスホルン北麓の標高約120m以上の範囲の他、ニセコアンヌプリ東麓～南麓には、真狩別(まっかりべつ)層の分布が示されている。
- ・共和町幌似付近及びニセコアンヌプリ南麓の一部等には留寿都(るすつ)層の分布が示されている。

(文献b)

- ・留寿都層及び真狩別層については、以下のとおりとされている。

(留寿都層)

- ✓岩相:安山岩岩塊を含む、帯桃白色の軽石と火山灰から成る。淘汰の悪い未固結の軽石流堆積物である。
- ✓堆積時期:本層に対比される熱郭火砕流は、 $>44,200$ B.P.とされている有珠火山灰C層NUs-cに被覆されており、また、熱郭火砕流から 0.13 ± 0.03 MaのF.T法年代が得られている。これらのことから本層の堆積時期は10万年B.P.頃と推定される。

(真狩別層)

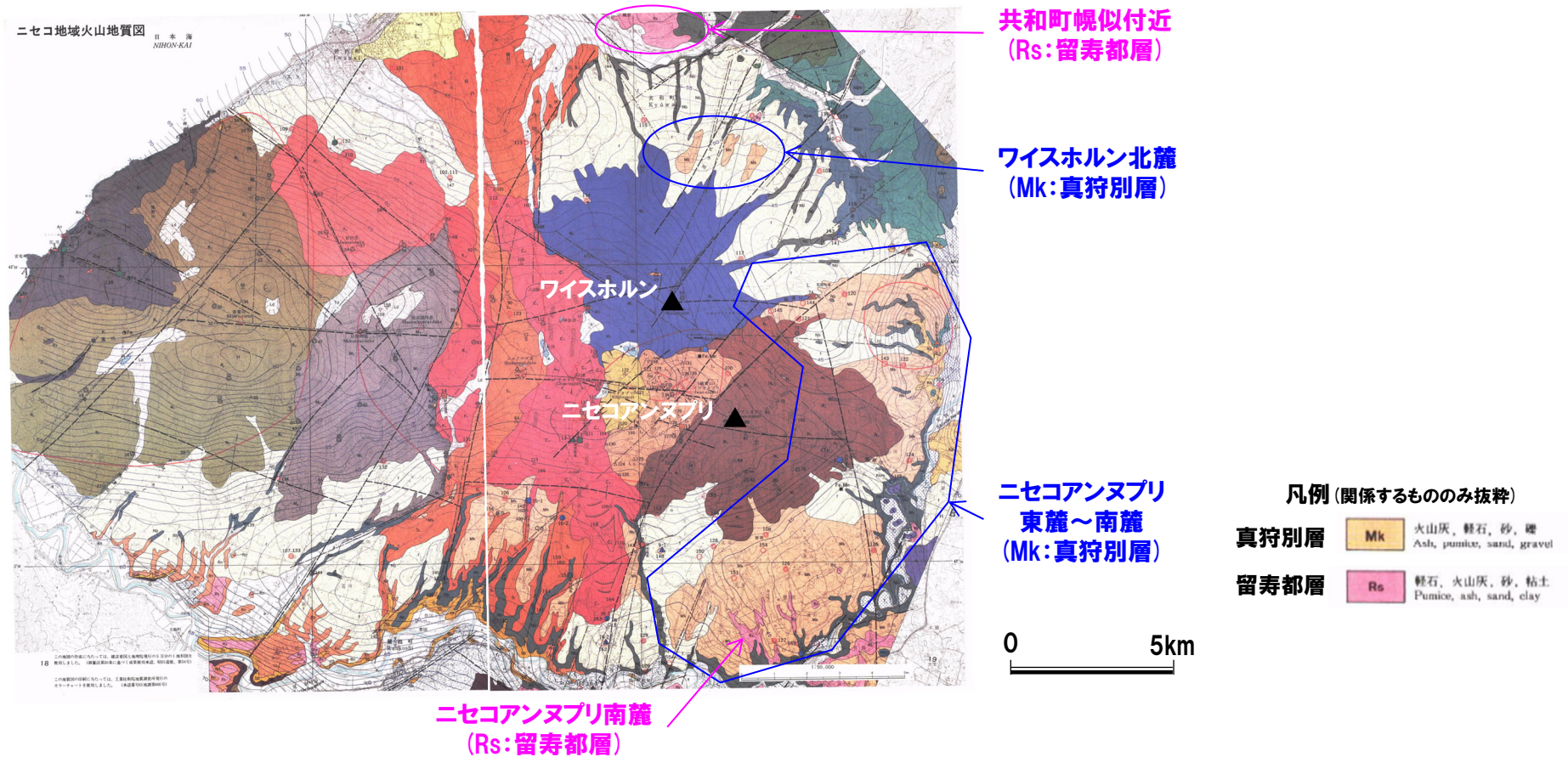
- ✓産状・岩相:下部から褐色ローム、明橙色降下軽石及び褐色ロームの順に壘重している。下部の褐色ロームの上面には、ゆるい起伏があり、この凹部を埋めるように降下軽石が堆積している。
- ✓堆積時期:有珠火山灰C層に対比され、同層中の炭化木片の ^{14}C 年代は $>44,200$ 年B.P.を示す。

○新エネルギー総合開発機構 (1987a) 及び同 (1987b) によると、真狩別層中の明橙色降下軽石層は、有珠火山灰C層「NUs-c」に対比される。NUs-cは山縣 (1994) において、「Kt-2」と命名され、倶多楽・登別火山群起源のテフラと同一のテフラ層とされている。

○石田ほか (1991) における留寿都層は、新エネルギー総合開発機構 (1987a) 及び同 (1987b) において真狩別層の下位に分布する地層で、 0.13 ± 0.03 MaのF.T法年代が得られている熱郭火砕流に対比される。熱郭火砕流は、町田ほか (1987) において、洞爺火砕流に対比されるとされている。

8. ワイスホルン北麓の洞爺火砕流堆積物について

文献レビュー (4/8)



ニセコ地域火山地質図
(新エネルギー総合開発機構 (1987a) に加筆)

文献レビュー (5/8)

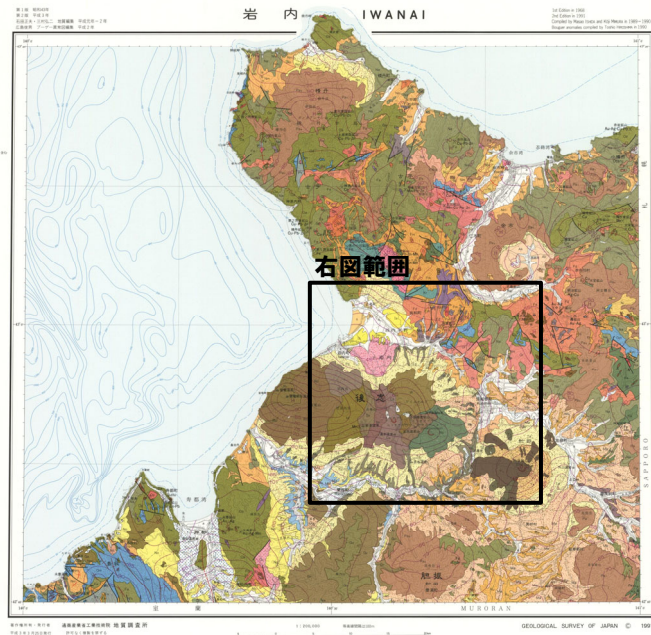
【石田ほか(1991)】

- 石田ほか(1991)「20万分の1地質図幅『岩内』(第2版)」をレビューした。
 - ・同文献によれば、ワイスホルン北麓の標高約120m以上の範囲の他、共和町幌似付近、ニセコアンヌプリ南麓の一部及び真狩(まっかり)村等においては留寿都層の分布が示されている。
 - ・留寿都層は、「軽石・火山灰・砂及び粘土、軽石流堆積物を含む」とされている。
 - ・ニセコアンヌプリ東麓～南麓の他、京極(きょうごく)町及び真狩村等には真狩別層の分布が示されている。
 - ・真狩別層は、「火山砂・火山灰・火山灰土・スコリア及び粘土、岩屑なだれ堆積物を含む」とされている。
- なお、「ニセコ火山及び羊蹄山火山地域は、新エネルギー総合開発機構(1987a)に従って区分したが、今回の調査結果に基づいて一部改訂を加えている。」と記載されているものの、その変更箇所及び根拠は示されていない。

- 石田ほか(1991)においては、新エネルギー総合開発機構(1987a)で真狩別層として示されている範囲のうち、ワイスホルン北麓の標高約120m以上の範囲は、洞爺火砕流堆積物に対比されると考えられる留寿都層に変更されているが、その根拠については示されていない。

8. ワイスホルン北麓の洞爺火砕流堆積物について

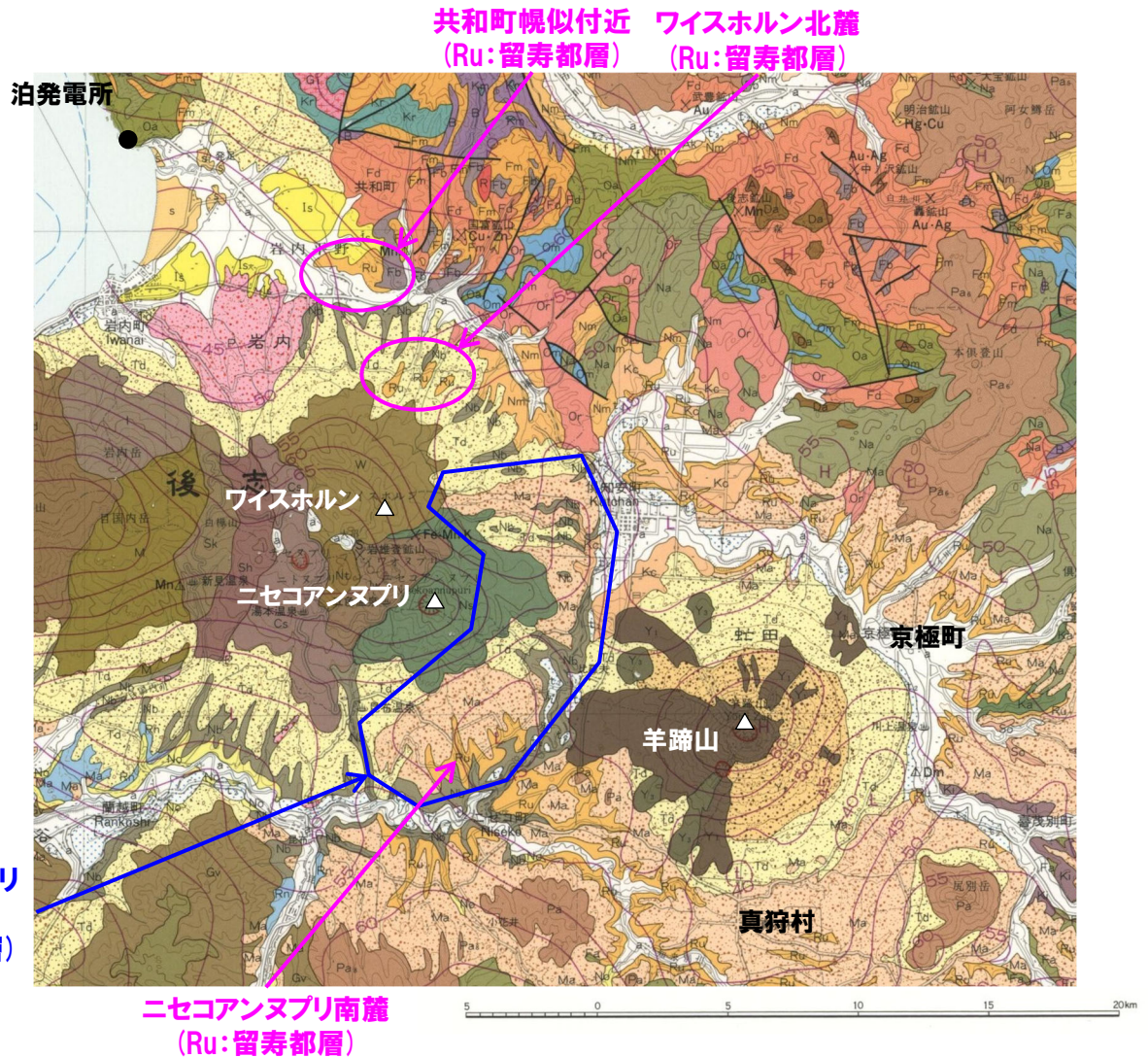
文献レビュー (6/8)



凡例 (関係するもののみ抜粋)

- 真狩別層** 火山砂・火山灰・火山床土・スコリア及び粘土、岩層むだれ堆積物を含む
Volcanic sand, volcanic ash, volcanic ash earth, scoria and clay, with debris-avalanche deposit
- 留寿都層** 軽石・火山灰・砂及び粘土、軽石流堆積物を含む
Pumice, volcanic ash, sand and clay, with pumice-flow deposit

ニセコアンヌプリ
東麓～南麓
(Ma:真狩別層)



20万分の1地質図幅「岩内」(第2版)
(石田ほか(1991)に加筆)

文献レビュー (7/8)

【産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)】

- 産業技術総合研究所の発行する地質図幅及び調査研究成果等に基づき、火山噴出物の分布範囲が整理されている産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)をレビューした。
 - ・同文献によれば、共和町幌似付近の他、ワイスホルン北麓の標高約120m以上の範囲の他、ニセコアンヌプリ東麓～南麓等に洞爺火砕流堆積物が示されている。
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)においては、石田ほか(1991)で留寿都層及び真狩別層等として示されている範囲は洞爺火砕流堆積物とされているが、その根拠については示されていない。
- ワイスホルン北麓の標高約120m以上の範囲に示された堆積物の分布範囲については、石田ほか(1991)において留寿都層として示されている堆積物に基づくものと考えられる。

8. ワイスホルン北麓の洞爺火砕流堆積物について

文献レビュー (8/8)



洞爺火砕流堆積物の分布範囲
 (産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020) に加筆)

- (1) 町田洋・新井房夫 (2011) :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.
- (2) Uesawa, S., Toshida, K., Takeuchi, S., Miura, D. (2022) :Creating a digital database of tephra fallout distribution and frequency in Japan, *Journal of Applied Volcanology*, 11 (1), 14.
- (3) 宝田晋治・中川光弘・宮坂瑞穂・山元孝広・山崎 雅・金田泰明・下司信夫 (2022) :支笏カルデラ支笏火砕流堆積物分布図, 大規模火砕流分布図, no. 2, 産総研地質調査総合センター, 34p.
- (4) Goto, Y., Suzuki, K., Shinya, T., Yamauchi, A., Miyoshi, M., Danhara, T., Tomiya, A. (2018) :Stratigraphy and lithofacies of the Toya ignimbrite in southwestern Hokkaido, Japan: Insights into the caldera-forming eruption at Toya caldera, *Journal of Geography*, 127 (2), 191-227.
- (5) 産業技術総合研究所 (2022) :令和3年度原子力規制庁委託成果報告書 巨大噴火プロセス等の知見整備に係る研究.
- (6) 早川由紀夫 (1991) :火山で発生する流れとその堆積物-火砕流・サージ・ラハール・岩なだれ. *火山*, 36, 3, pp.357-370.
- (7) 吉田武義・西村太志・中村美千彦 (2017) :火山学, 共立出版.
- (8) Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S., Furukawa, R (2020) :Stratigraphy and chronology of silicic tephtras in the Shikotsu-Toya Volcanic Field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in SW Hokkaido. *Quaternary International*, 562, pp.58-75.
- (9) 町田洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史 (1987) :北日本をおおう洞爺火山灰, *第四紀研究*, 第26巻, 第2号, pp.129-145.
- (10) 中村一明・荒牧重雄・村井勇 (1963) :火山の噴火と堆積物の性質. *第四紀研究*, 第3巻, 第1~2号, pp.13-30.
- (11) Walker, G.P.L. (1971) :Grain-size characteristics of pyroclastic deposit, *J. Geol.*, 79, pp.696-714.
- (12) 柴田翔平・長谷川健 (2022) :北海道東部, 屈斜路火山40 kaカルデラ形成噴火 (Kp I) の推移:-大規模水蒸気プリニー式噴火の発生機構-, *火山*, 第67巻, 第2号, pp.149-169.
- (13) 石田正夫・三村弘二・広島俊男 (1991) :20万分の1地質図幅「岩内」, 通商産業省工業技術院地質調査所.
- (14) 和田恵治・中村瑞恵・奥野充 (2001) :旭岳の表層にみられる広域火山灰の化学組成とその給源火山の特定, 北海道教育大学大雪山自然教育施設研究報告, 第35号. pp.9-18.
- (15) 青木かおり・町田洋 (2006) :日本に分布する第四紀後期広域テフラの主元素組成-K₂O-TiO₂図によるテフラの識別, 地質調査研究報告, 第57巻, 第7/8号, pp.239-258.
- (16) 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 要旨.
- (17) 児玉浩・宇井忠英・中川光弘 (1998) :ニセコ火山群の火山活動史, 日本岩石鉱物鉱床学会 平成9年度学術講演会予稿集, p.8.
- (18) 勝井義雄・岡田弘・中川光弘 (2007) :北海道の活火山, 北海道新聞社.
- (19) 大場与志男 (1960) :ニセコ火山群の岩石について, *地質学雑誌*, 第66巻, 第783号, pp.788-799.
- (20) 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.
- (21) Oka, D., Tamura, M., Mogi, T., Nakagawa, M., Takahashi, T., Ohzono, M., Ichiyangi, M. (2023) :Conceptual model of supercritical geothermal system in Shiribeshi Region, Hokkaido, Japan, *Geothermics*, 108, 102617.
- (22) 新エネルギー総合開発機構 (1987a) :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.

- (23) 山元孝広 (2016) : 支笏カルデラ形成噴火のマグマ体積, 地質調査総合センター研究資料集, No.632, 産総研地質調査総合センター.
- (24) 山縣耕太郎・町田 洋 (1996) : 北海道伊達における洞爺テフラとその上位の諸テフラ, 第四紀露頭集—日本のテフラ, 日本第四紀学会, 50.
- (25) Uesawa, S., Nakagawa, M., Umetsu, A. (2016) : Explosive eruptive activity and temporal magmatic changes at Yotei volcano during the last 50,000 years, southwest Hokkaido, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res. 325, 27-44.
- (26) 嵯峨山積・星野フサ・井島行夫・近藤玲介・関根達夫・小田桐亮・宮入陽介・横山祐典 (2021) : 古倶知安湖の検証—その2—: 北海道倶知安町の上部更新統真狩別層の14C年代値, 火山灰, 花粉および珪藻の分析, 総合地質, 5-1, pp.71-80.
- (27) 井上 隆・関根達夫・岡村聡・小田桐 亮・嵯峨山 積 (2022) : 北海道倶知安町高砂の法面に現れた古倶知安湖堆積物, 総合地質, 6-1, pp.47-56.
- (28) Nakagawa, M., Miura, D., Uesawa, S., Amma-Miyasaka. (2016) : IWCC 6 Excursion Guide Book CALDERAS AND ACTIVE VOLCANOES IN SOUTHWESTERN HOKKAIDO, JAPAN, IWCC 6 Hokkaido Japan 2016.
- (29) 嵯峨山積・関根達夫・星野フサ (2020) : 古倶知安湖の検証: 北海道倶知安町の後期更新世堆積物の微化石分析, 総合地質, 4-1, pp.1-7.
- (30) 産業技術総合研究所 (2021) : 令和2年度原子力規制庁委託成果報告書 巨大噴火プロセス等の知見整備に係る研究.
- (31) 産業技術総合研究所 (2018) : 平成29年度原子力規制庁委託成果報告書 火山影響評価に係る技術知見の整備.
- (32) 新エネルギー総合開発機構 (1987b) : 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 1:50,000, ニセコ地域地熱地質編図1:100,000 説明書.
- (33) 山縣耕太郎 (1994) : 支笏およびクッタラ火山のテフロクロロジー, 地学雑誌, 第103巻, 第3号, pp.268-285.
- (WEB)
- (34) 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), 産総研地質調査総合センター:
<https://gbank.gsj.jp/volcano/vmap/>