

第72南極特別保護地区管理計画（ASPA172）

ヴィクトリア・ランドのマクマード・ドライ谷のテイラー氷河下流及びブラッドフォール

はじめに

ブラッドフォールは、マクマード・ドライ谷のテイラー谷テイラー氷河末端に位置する、鉄を多く含む塩水流出口である。流出物の起源は、氷河下にある広範な塩水（brine）帯水層で、テイラー氷河消耗帯の測定可能範囲（5kmまで）より下に位置するだろうと信じられており、ブラッドフォールより上流の1～6km間の位置すると推定されている。概算の面積と座標は、氷河内（sub-surface）面積が436km²（中心は東経161度40.230分、南緯77度50.220分）、氷河表層（sub-aerial）面積が0.11km²（中心は東経162度15.809分、南緯77度43.365分地点のブラッドフォール流出口）である。本地区指定の主な理由は、その特異な物理的特性、並びに他とは異なる微生物生態学及び地球化学による。本地区は圏外生物学研究に重要な場所であり、直接的な接触をせずに氷底環境のサンプルを得る極めて稀な機会を提供する。ブラッドフォールが近隣のボニー湖に及ぼす影響もまた重要な科学的関心事項である。さらに、テイラー氷河の消耗帯は、古気候及び雪氷学研究にとって重要な場所である。テイラー氷河下流の氷底塩水貯留層とブラッドフォールは、世界的にも特異であり、優れた科学的重要性を持つ場所である。本地区の指定により、ブラッドフォールの貯留層及び水文システムを損なわないことを確保する措置を整えることを条件に、テイラー氷河の深部の氷への科学的接近が認められることとなった。南極環境領域分析（決議3、2008）によると、本地区は、環境領域S（マクマード、ヴィクトリア・ランド南部地質）に、南極保護生物地理区（第2版）（決議3、2017）では、ACBR9（ヴィクトリア・ランド南部）に属する。

1. 保護を必要とする価値の記述

ブラッドフォールは、ヴィクトリア・ランド南部にあるマクマード・ドライ谷のテイラー谷のテイラー氷河末端（東経162度16.288分、南緯77度43.329分）に位置する特徴的な氷河地形である（地図1）。本特徴は氷底を源とする、鉄を多く含む塩水の流出物が氷河表層に出現した場所で、後に急速に酸化して独特な赤色を発して形成されるものである（図1）。入手可能な証拠によれば、流出物の源はテイラー氷河の下に位置する氷底海塩鉱床と塩水貯留層であることが示唆されている（Keys 1980、Hubbard et al. 2004、Mikucki et al. 2015）（地図1）。本特徴は、その物理的構造、微生物学及び地球化学において類のないものであり、またボニー湖の局所生態系に重要な影響を持つ。さらに、ブラッドフォールの断続的な流出事象は、氷底の貯留層とその生態系の特性を採取する特異な機会を提供する。ブラッドフォールが最初に観察されたのは、1911年にRobert F. Scottの主任地質学者、Griffith Taylorによってであった。しかし、その類のない形態的、地球化学的特徴に関する科学研究は1950年代後半まで始まらなかった（Hamilton et al. 1962、Angino et al. 1964、Black et al. 1965）。ブラッドフォールと名づけられた特徴は、テイラー氷河末端の第一流出地のためである

(地図2)。第二の横方向の塩水流出が、サンタフェ川三角州の周縁部のテイラー氷河北約40mの堆積物下から氷河表層へと現れていることが観察されている(東経162度16.042分、南緯77度43.297分、地図2)。地質学、氷河化学及び地球物理学的な地図作成結果から、貯留層は、ボニー湖の真下及び氷河末端の下流から丘の少なくとも5km上方へと広がることが示唆されているが(Keys 1980、Hubbard et al. 2004、Mikucki et al. 2015、Foley et al. 2015)、ブラッドフォールへの供給源となる氷底貯留層の正確な位置と形状は現在明確ではない。塩水貯留層が氷に閉ざされた年代は、およそ3から5百万年前(Ma BP)と推定されており(Marchant et al. 1993)、テイラー谷で最古の液体の特徴を代表するだろうとされている(Lyons et al. 2005)。

ブラッドフォールの流出物には、明らかに海洋起源とみられる固有の微生物群集が含まれる。こうした微生物は氷底環境で外部からの炭素流入がないまま何百万年も生存する可能性がある。鉄及び塩分含有量の高さと、氷河の下にあるという物理的位置から、ブラッドフォールの微生物生態系は圏外生物学研究にとって重要な場所であり、火星の極冠氷下に見られる状況、もしくは衛星エンケラドスやエウロパのような海のある世界と類似した様相を提供する可能性がある。従って、ブラッドフォールの微生物群集、塩水貯留層及び関連する氷底水文システムを確実に保護することが重要である。ブラッドフォールから近隣のボニー湖に断続的に排出される流出物は湖の地球化学的構成を変化させ、本来であれば限られている栄養素を提供するため、この場所は、氷底からの流出物が湖の生態系に及ぼす影響を調査するために有益である。氷底の帯水層からの塩水が、ボニー湖の湖底水とも直接に氷底で繋がっているという証拠が増えている(Mikucki et al. 2015、Spigel et al. 近刊 2018)。テイラー氷河は南極の雪氷学及び古気候研究にとって重要な場所である。テイラードームからの氷コア古気候データ、テイラー谷の地質学的証拠及び近隣の米国長期生態学調査(US Long Term Ecological Research : LTER)サイトからの気候データを用いることで、南極の溢流氷河の動きを環境変化との関係から研究する上でまたとない機会を提供する(Kavanaugh et al. 2009a、Bliss et al. 2011)。テイラー氷河の下流にある消耗帯は、最終氷期の氷が露出し、また過去の微量ガス濃度を高い時間分解能で測定できるため、古気候研究にとって潜在的価値のある場所とされている(Aciego et al. 2007)。さらに、テイラー氷河は雪氷学研究、特に氷河力学及び負荷と氷河流との関係、及びその他の雪氷学的調査にとって科学的価値のある場所である(Kavanaugh & Cuffey 2009)。

ブラッドフォールの体系は、微生物学、水化学、雪氷学及び古気候学研究にとって貴重な場所である。この体系のもっとも特異な様相は、その物理的形態、塩水化学及び微生物生態系である。ブラッドフォールはまた、ボニー湖の地球化学及び微生物学に、重要な影響を及ぼしている。本地区は近年様々な科学論文及びメディア記事の対象となっており、卓越した芸術的価値と重要な教育価値を有する。ブラッドフォール及びテイラー氷河の塩水貯留層は、その優れた科学的価値、特異な構造、古代起源であること、その地域特有の生態系に対する重要性、人間活動による攪乱の影響を

受けやすいことから、特別な保護に値する。

現在入手可能な知識に基づき、汚染物質が、氷底貯留層もしくは地層域（ここから氷底の流動体が貯留層へ流れる恐れがある）へ直接流入することが、テイラー氷河の塩水貯留層汚染の最も可能性の高い潜在的機序として明らかにされている。しかし、氷底貯留層の位置や氷底貯留層と氷底水文システムとのつながりを取り巻く不確定要素のため、このような汚染が起こる可能性を評価することは難しく、従って本地区の氷河内構成要素について境界を規定するにあたっては、予防的手法が採用されている。

2. 目的

テイラー氷河下流及びブラッドフォールの管理の目的は以下の通りである。

- 本地区に対する不必要な人間の攪乱及び試料採取を防ぐことにより、本地区の価値の低下または価値への重大なリスクを回避すること。
- 特に、微生物群集、水化学及びテイラー氷河下流及びブラッドフォールの物理的構造に関する科学調査を許可すること。
- 本地区の価値を脅かさないことを条件に、その他の科学研究及び教育／支援目的の訪問を許可すること。
- 本地区への外来の植物、動物及び微生物を持ち込む可能性を最小限にすること。
- 本管理計画の目的を支援する管理目的のための訪問を許可すること。

3. 管理活動

本地区の価値を保護するため、以下の管理活動を行うこと。

- 不注意な立ち入りを避ける助けとするため、立ち入り制限の明示とともに、位置及び境界について解説した標識類を、本地区の氷河表層構成要素の境界線上の位置に適宜設置する。
- 科学的あるいは管理的目的のために本地区内に設置された標識類もしくは建造物は、安全かつ良い状態に保ち、必要がなくなった時点で取り除く。
- 本地区が指定された目的に寄与し続けているか評価し、管理及び保守のための手段が適切であることを確保するため、必要に応じて（少なくとも5年に1回）訪問を行う。
- 本管理計画の写しは、本地区に隣接する主要な調査小屋施設（特にボニー湖、ホアレ湖、フリクセル湖、F6、ニューハーバー野営地、マクマード基地及びスコット基地）において、入手可能な状態にしておく。
- この地域で活動する国家南極プログラムは、上記の規定の実施を徹底するため、相互協議する。

4. 指定の期間

指定の期間は無期限である。

5. 地図及び写真

地図1：ASPA172 テイラー氷河下流及びブラッドフォールの氷河内保護地区境界。投影法：ランベルト正角円錐図法、標準緯線：第1南緯77度35分、第2南緯77度50分、中央経線：東経161度30分、緯度原点：南緯78度00分、回転楕円体及び水平基準点：WGS84、等高線間隔：200m

挿入図1：ASMA2 ロス海地域のマクマード・ドライ谷の位置。

挿入図2：ASMA2 マクマード・ドライ谷におけるテイラー氷河の位置。

地図2：ASPA172 ブラッドフォールの氷河内及び氷河表層の保護地区境界、並びに指定の野営地。投影法：ランベルト正角円錐図法、標準緯線：第1南緯77度43分、第2南緯77度44分、中央経線：東経162度16分、緯度原点：南緯78度00分、回転楕円体及び水平基準点：WGS84、等高線間隔：20m



図1：空から見たテイラー氷河の末端（2004年）。中心にブラッドフォール、左下にボニー湖（撮影者不明 2004年11月18日）。示されている野営地は、現在はその大部分がボニー湖の水面下であることを注意する（2018年1月）。



図2：空から見たテイラー氷河の末端（2009年）。本地区の氷河表層構成要素の広がりを示す。図1との比較で、時間と共に流出範囲の広がりを変化することを際立たせている（C. Harris 欧州研究圏／米国南極プログラム 2009年12月10日）。

6. 本地区の記述

6 (i) 地理学的経緯度、境界の標示及び自然の特徴

概要

ブラッドフォール（東経162度16.288分、南緯77度43.329分に位置する）は、ヴィクトリア・ランド南部マクマード・ドライ谷のテイラー氷河末端付近のクレバスから出現する、鉄を多く含む過塩性の流出口である。塩水は初めのうちは色合いに乏しいが、氷河から流れ落ちる間に気泡を含んだ白い着氷へと凍結し、その後酸化して特徴的な赤橙色となる。特に第一流出口付近では、以前氷河のクレバスや割れ目だった箇所に鉄色の物質が封入されている多くの形跡が残っている。サンタフェ川三角州の周縁部にあるテイラー氷河の北約40mには、第二の、はるかに小さく、それほど目立たない表層の流出口が1958年と1976年の2回観察されている（東経162度16.042分、南緯77度43.297分、地図2）。第二流出口の流出物は、ブラッドフォールの第一流出口に類似した物理的及び化学的構成を有する（Keys 1980）。

ブラッドフォールの第一表層流出物と着氷の蓄積物の量及び物理的規模は、塩水の着氷量が数百から数千立方メートルまで時間とともに変動し、また流出事象は1年から3年、あるいはそれ以上の間隔を置いて発生する（Keys 1980）。不明な割合の塩水が、凍結前にボニー湖に時折流出する

(例：1972年、1978年)。最も規模が小さい場合、流出物はテイラー氷河末端の小域が変色する形で現れるが、最大時はボニー湖を横切り何十メートルにも及ぶ可能性がある(図1や図2等を参照)。

塩水流出物の起源は氷底であり、塩水流出物の水分は氷河の氷が融解したものである(Mikucki et al. 2009)が、その本来の源、成立年代、及び氷河内の塩水の進化についてははっきりしていない。化学的及び同位体分析より、一つ又は複数の海塩鉱床がテイラー氷河の氷を融解している、もしくは融解していた、あるいはその両者が起こっていることを示している(Keys 1980)。テイラー氷河の末端から1~6km地点の氷底深くにある地形から、塩類がおそらくその辺りにあるだろうと示唆されるが、氷河のより上流にある他の場所の可能性もある。結果として現れる氷底の塩水の濃度及び規模、もしくは結果としてできる貯留層や塩水の流出路の正確な位置や性質については、未だはっきりとは立証されていない(Keys 1980、Hubbard et al. 2004)。

境界線及び座標

本地区の境界は、集水域の大きさ、予想される水文学的連結及び実用性を考慮し、氷底の塩水貯留層及びブラッドフォールの氷河表層の流出に係る価値を保護するために設定されている。テイラー氷河の表層と基盤の水文学的な連結及び相互作用は最小限と考えられるとの証拠があるため、大半の集水域の表層もしくは上空への接近、又はその両方を制限する必要はないと考えられている。しかし、既に確認されているブラッドフォールの第一及び第二流出口を包含する小域は、第一流出口から直接流れ出すテイラー氷河の表層の一部を含め、確認されている流出地域を適切に保護するため、氷河表層境界線内に含まれる(地図2)。地図1に示す「潜在的流出口」の位置例は、まだ確認が取れていないため、現行では本地区に含めない。これらの場所は、現代の流出口というよりも、貯留層あるいは関連地形がある時点で関わったであろう基底プロセスを示唆する露出を象徴する可能性がある。さらに、こうした特徴は、ブラッドフォールの貯留層もしくは第一流出地に流れ込まない。一方、氷底の相互連結は広範囲に及ぶ可能性があり、氷河上流約50kmに及ぶ比較的大きな氷河内構成要素は、塩水貯留層と相互に連結している可能性のあるテイラー氷河下流の氷底集水域の主要部を保護することを狙いとしている(地図1)。厳密に言えば集水域は南極高原まで広がっているため、相互連結の中にはさらに遠くまで続くものがあるかもしれないことが認識されているが、この範囲は現在貯留層に係る価値を保護するために十分であると考えられている。そのため西の境界線は、その境界線外では本地区へのリスクが最小と考えられる、ある程度実地的な制限として選択されたものである。

要約すると、本地区の垂直方向及び水平方向の範囲は、以下の理由で定められる。

- 境界線が、氷底貯留層とブラッドフォールの確認済みの第一、第二流出地域との統合性を保護するものであること。

- 境界線が、貯留層の位置及び氷底水文システム内の連結性に関する不確実性を許容するものであること。
- 地図作成と現地での確認が単純明快な、集水域に基づいた実用的な境界を提供すること。
- 境界線がテイラー氷河の表層上もしくは上空、又はその両方における活動を不必要に制約するものでないこと。

主要な境界座標を表1にまとめて示す。

表1：主要な保護地区境界座標の略表（地図1及び地図2参照）

位置	分類	経度 (E)	緯度 (S)
氷河内境界線			
ブラッドフォール 第一流出口	A	162度16.305分	77度43.325分
テイラー／フェラー氷河分水嶺、ククリ丘陵南周縁部	B	161度57.300分	77度49.100分
ノブヘッド、北東尾根の麓	C	161度44.383分	77度52.257分
ケナー谷、テイラー氷河周縁の中心	D	160度25.998分	77度44.547分
ビーハイブ山、南西尾根の麓	E	160度33.328分	77度39.670分
マドレーカール南西地域	F	160度42.988分	77度39.205分
マドレーカール南東地域	G	160度48.710分	77度39.525分
氷河表層境界線			
テイラー氷河末端、露出した氷／氷堆石	a	162度16.639分	77度43.356分
ブラッドフォールに注ぐ氷河上の集水域、西部地域	b	162度14.508分	77度43.482分
テイラー氷河、北周縁部	c	162度15.758分	77度43.320分
サンタフェ川三角州、西周縁部	d	162度15.792分	77度43.315分
ローソン小川、西岸の巨礫	e	162度16.178分	77度43.268分
ボニー湖、サンタフェ川三角州の岸から東約180m	f	162度16.639分	77度43.268分

氷河内

氷河内の境界は、表面下100mの深さから氷河底面までのテイラー氷河の消耗帯全体を包含する。表層における境界線の確認を助けるため、また氷河内深さ100mにある構造についてのデータ入手可能性に対する実際的な制約から、テイラー氷河の表層周縁を深さ100m地点の線に代用させることにより、本地区の氷河内構成要素の横方向範囲の定義として使用する。以下の記述は、はじめに本地区の氷河内構成要素の横方向の範囲を定義し、続いて縦方向の範囲を定義する。保護地区境界の氷河内構成要素は、ブラッドフォール第一流出地（東経162度16.288分、南緯77度43.329分）（表1、地図1及び地図2の分類「A」）からテイラー氷河末端に沿って南に0.8km、リヨン小川の氷河の南周縁部まで伸びる。本地区の境界線はここから19.3km南西（地図1）に、テイラー氷河の南周縁部に沿ってククリ丘陵の西端へ続く。境界線はその後7.8km東に、テイラー氷河とフェラー氷河がククリ丘

陵の南周縁部に沿って分氷する大体の地点、東経161度57.30分、南緯77度49.10分（表1、地図1の「B」）まで伸びる。そこから7.9km南西に、テイラー氷河とフェラー氷河の間のおおよその分氷嶺に沿って、ノブヘッドの東端、東経161度44.383分、南緯77度52.257分（表1、地図1の「C」）まで伸びる。次にテイラー氷河の南周縁部に沿ってウィンディガリーまで西に11.8km、ウィンディガリーを横切り、テイラー、ビーコン、ターナバウト氷河の周縁部に沿って東経160度25.998分、南緯77度44.547分に位置するケナー谷（表1、地図1の「D」）まで、45.2km北西に伸びる。そこから北東にテイラー氷河を横切って東経160度33.328分、南緯77度39.670分（表1、地図1の「E」）に位置するビーハイブ山の麓まで9.5km進む。目視基準としては、保護地区の境界線はテイラー氷河の表面、大きなクレバスのある地域からすぐ下流にはっきりとわかる明瞭な尾根に平行するものである。

ビーハイブ山から、境界線は東に5km、マドレーカール及びテイラー氷河間の境界線の東経160度42.988分、南緯77度39.205分（表1、地図1の「F」）まで伸びる。そこからマドレーカールの周縁部に沿って9.6km、東経160度48.710分、南緯77度39.525分（表1、地図1の「G」）でテイラー氷河に再接合するまで進み、その後テイラー氷河の北周縁部に沿ってキャベンディッシュ氷瀑の麓まで59.6km南東に向かう。境界線はそこから北そして東へ、テイラー氷河の周縁部に沿って16.9km進むが、シモンズ湖とジョイス湖は除く。さらにブラッドフォールの第一流出地まで15.4km東に進む（表1、地図2の「A」）。

本地区の氷河内構成要素の垂直方向の範囲は、テイラー氷河の表面下の深さによって定義される（図3）。氷河内の境界線はテイラー氷河表面下深さ100mの地点から、氷河下の基盤岩石の表面として定義される氷河底面まで伸びる。境界内には氷底水文システム、ブラッドフォールの塩水貯留層、氷／堆積物又は未固結堆積物もしくはその両方の混合層がすべて含まれる。本地区の氷河内構成要素は、テイラー氷河表面あるいは氷河本体上部深さ100mまでにおいて行われる活動に対して追加の制約を与えるものではない。

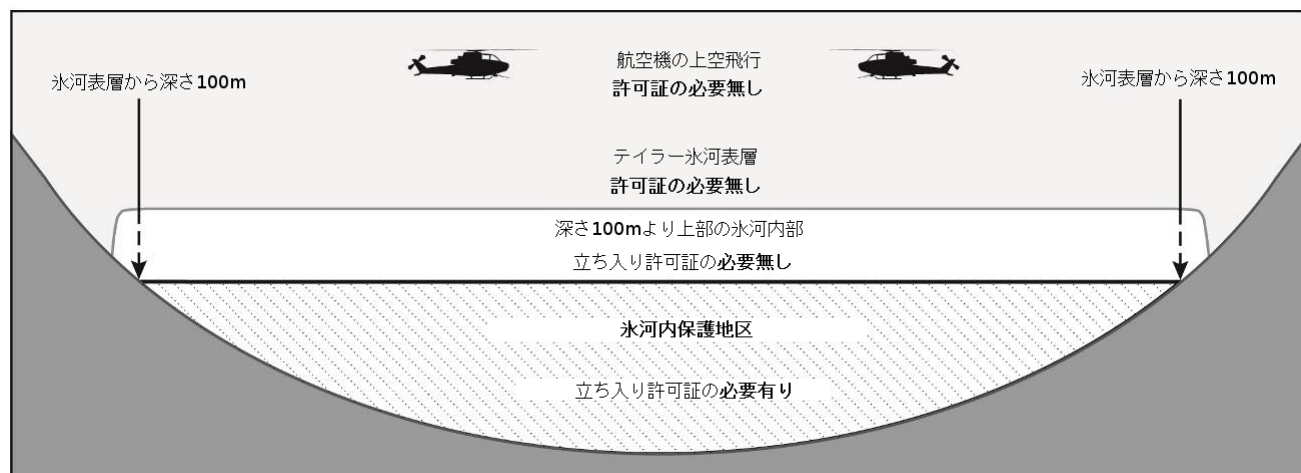


図3：テイラー氷河下流及びブラッドフォール保護地区における氷河内構成要素の垂直方向の範囲を深さに基づき定義したもの。

氷河表層

本地区の氷河表層構成要素は、サンタフェ川三角州、ボニー湖西端の一部、ブラッドフォールを取り巻く小さな氷河上の集水域からなり、この集水域は、少なくとも10年単位の期間にわたり持続する局所的氷河形態における氷の尾根の連なりによって定義される。本地区の氷河表層構成要素の南東の境界は、テイラー氷河末端の東経162度16.639分、南緯77度43.356分から伸びる明確な露出氷及び氷堆石によって示される（表1及び地図2の「a」）。境界線はそこから南西に氷河上流へ900.8m、ブラッドフォールを取り巻く氷河上の集水域の南周縁部に沿って、東経162度14.508分、南緯77度43.482分に位置する氷河上の集水域のもっとも西の地域まで伸びる（表1、地図2の「b」）。その後テイラー氷河周縁部の東経162度15.758分、南緯77度43.320分まで、氷河上の集水域の北周縁部に沿って北東へ594.5m進む（表1、地図2の「c」）。そこから直線で北東に16.8m、東経162度15.792分、南緯77度43.315分に位置するサンタフェ川三角州上方の川岸頂部まで進む（表1、地図2の「d」）。境界線はそこから川岸の頂部に沿って北東へ198.7m、東経162度16.178分、南緯77度43.268分でローソン小川に合流する地点まで伸びる（表1、地図2の「e」）。その後、ボニー湖の東経162度16.639分、南緯77度43.268分の地点（表1、地図2の「f」）まで真東に直線で180.5m伸び、そこから明確な露出氷及び氷堆石まで真南に直線で166.5m伸びる。

気候

ブラッドフォール近くには、マクマード・ドライ谷長期生態学研究（LTER）のプログラムが運営する2つの気象観測所が存在する（<http://www.mcmlter.org/>）。「ボニー湖」（「a」地点、東経162度27.881分、南緯77度42.881分）は東に約4.5km、「テイラー氷河」（東経162度07.881分、南緯77度44.401分）は氷河上流の約4kmに位置する。年平均気温は、どちらの観測所でも1993年から2015年にかけて約-17°Cであった。2つの観測所における同期間中の最低気温は-48.26°Cで、2008年8月にボニー湖で記録された。一方、最高気温は10.64°Cで、2001年12月にボニー湖で記録された。8月はどちらの観測所でももっとも寒冷な月であり、ボニー湖では1月、テイラー氷河では12月がもっとも温暖な月であった。1995年から2009年の同じ期間の年平均風速はボニー湖の3.89m/sからテイラー氷河の5.16m/sの範囲であった。最高風速は、2014年5月11日にテイラー氷河で44.12m/sが記録された。テイラー谷の地形、特にヌスバウム・リーゲル（Nussbaum Riegel）は、ボニー湖流域で孤立した気象システムの形成を促し、同地域への海岸風の流れを制限する（Fountain et al. 1999）。1995年から2009年にかけてのボニー湖における年平均降水量は、水当量340mmであった。テイラー氷河の消耗速度は、キャベンディッシュ氷瀑を取り巻く地域でもっとも高く、ウィンディガリーの麓で最高（約0.4m a⁻¹）に達し、ビーコン谷の氷河上流で最低（約0~0.125m a⁻¹）であった。テイラー氷河下流の消耗速度は、通常0.15m a⁻¹から0.3m a⁻¹の範囲であった（Bliss et al. 2011）。

地質及び地形

テイラー谷は様々な年代と岩種のモザイク状の氷礫土 (till) からなり、先カンブリア紀変成基盤岩 (ロス類層群)、旧古生代貫入岩 (花崗岩湾類層)、デボン紀からジュラ紀の一連の堆積岩 (ビーコン類層群) 及びジュラ紀のフェラー粗粒玄武岩貫入岩床が含まれる (Pugh et al. 2003)。ブラッドフォールの氷底貯留層は、鮮新世 (3~5百万年前) に起きたマクマード・ドライ谷への海洋貫入を起源とする海塩水と考えられており、ドライ谷で最古の液状水地形を表している可能性がある (Lyons et al. 2005)。後に海水がテイラー谷から退いた際、塩水が今日のテイラー氷河末端近くに閉じ込められ、鮮新世後期又は更新世に氷が発達するに伴い氷底に「封じ込められた」という説が提唱されている (Marchant et al. 1993)。塩水沈殿物は、現在は氷底貯留層を形成すると考えられており、これが第一の流出及び横方向の第二の流出地点において表面に時折現れる。塩水は、部分的には化学的風化による流入物のために、閉じ込められた当初から変性していることが示唆されている (Keys 1980、Lyons et al. 2005、Mikucki et al. 2009)。

土壌及び堆積物

テイラー谷の土壌は概して発達が悪く、主として砂から構成される (重量の95~99%) (Burkins et al. 2000、Barrett et al. 2004)。テイラー谷の土壌は地球上でもっとも有機質濃度の低いもののいくつか (Campbell & Claridge 1987、Burkins et al. 2000) で、特にボニー湖流域の土壌は有機炭素量が少ない (Barrett et al. 2004)。テイラー谷では、土壌は通常深さ10cmから30cmまで広がっており、その下は永久凍土である (Campbell & Claridge 1987)。氷河の氷礫土に加え、テイラー谷の底部はかつて広大な氷河湖であったウォッシュバーン湖に沈殿した湖成堆積物によって覆われており、これは深さ約300mに及ぶ (Hendy et al. 1979、Stuiver et al. 1981、Hall & Denton 2000)。

テイラー氷河の氷舌端にある氷堆石は、およそ30万年前 (300 Ka BP) の湖成再堆積物から構成される (Higgins et al. 2000)。またテイラー氷河周縁部の堆積物も、岩屑に富む基底氷河水からの融解と氷縁部の流れによる侵食によって形成されるシルト質及び砂質の氷礫土からなる (Higgins et al. 2000)。細粒堆積物に特徴付けられ、ブラッドフォールの氷底貯留層に由来する塩分を含むと思われる厚い基底氷の連続が、テイラー氷河の北周縁部で掘削したトンネル内で記録されている

(Samyn et al. 2005, 2008、Mager 2006、Mager et al. 2007)。こうした観察結果は、テイラー氷河の基底部がその下の堆積物と相互作用を持つこと、局所的な融解と再凍結が起きている可能性があることを示唆するものである (Souchez et al. 2004、Samyn et al. 2005、Mager et al. 2007)。

雪氷学及び氷河水文学

テイラー氷河は東南極氷床の溢流氷河であり、ボニー湖の西の突出部を終点とする。近年テイラー氷河の消耗帯の動きについて、その形状と表面速度場 (Kavanaugh et al. 2009a)、力平衡 (Kavanaugh & Cuffey 2009)、及び現代の質量収支 (Fountain et al. 2006、Kavanaugh et al. 2009b)

などを含む包括的研究が行われた。結果は、氷河が主に寒冷な氷の変形を通じて流れること、またテイラー氷河がほぼ質量収支の均衡した状態にあることを示唆している。テイラー氷河下流の消耗帯の氷の標本が古気候研究に用いられ、その氷の年代は最終氷期とされている (Aciego et al. 2007)。近年テイラー氷河下流域に関して行われた調査によると、ある完全な氷の連続では、8千年から、5.5万年に渡る年代及び構造がよく保存されており (Baggenstos et al. 2017)、いくつかの氷標本は、少なくとも15万年前の年代を示していた (Severinghaus 私信 2018) ことが特定された。この地域から採掘された氷コアは、大気ガス構成物質の変化の分析に使用されている (Bauska et al. 2016, Petrenko et al. 2017)。テイラー氷河で最近行われたその他の雪氷学的研究では、末端の乾燥した氷崖の進化を調査し (Pettit et al. 2006, Carmichael et al. 2007)、ブラッドフォール第一流出口に近い氷底トンネル内の基底氷について組織構造及びガス測定を実施し (Samyn et al. 2005, 2008, Mager et al. 2007)、さらに氷河表面におけるエネルギー収支評価を行った (Bliss et al. 2011)。テイラー氷河の氷河上の水文に関する研究では、テイラー氷河下流の消耗帯の約40%を融氷水の水路が占め、水路内の融解がボニー湖への総流出量に大きく貢献していることが示唆された (Johnston et al. 2005)。2つの大きな水路がブラッドフォールの第一流出口を越えて流れ込んでいるが、表面の融氷水の水路とブラッドフォールの氷底貯留層間では、表面に近い氷の温度が低いことと深さ100mを越えたクレバスの浸透はないため、おそらく直接のつながりはないと考えられる (Cuffey, Fountain, Pettit and Severinghaus 私信 2010)。

テイラー氷河下の氷底融氷水の広がりとはブラッドフォール体系とのつながりは、現在のところはっきりしていない。推測される基底部の温度は、テイラー氷河の基底の大部分が圧力融解点よりはるかに低いことを示唆しており (Samyn et al. 2005, 2008)、Holtら (2006) が行ったレーダー調査では、テイラー氷河下に液状水が広範囲に広がる証拠は得られなかった。Samynら (2005) が行った測定では、ブラッドフォール近くの氷河側面での基底温度は -17°C を記録している。しかし、氷厚及び氷河内の温度の妥当な勾配は、ブラッドフォールの1~3km以内の氷河基底における約 -5°C から -7°C という温度と一致しており、第一及び第二流出地点における塩水流出物の測定温度と類似する (Keys 1980)。氷透過レーダー調査より、おそらく過塩性の水が、テイラー氷河末端から4~6km間に位置する80mの基盤岩石のくぼみ内に存在する可能性が示唆された (Hubbard et al. 2004)。塩水はブラッドフォールの氷底貯留層から、通常は第一流出口から、また時には横方向の第二流出地点から放出される。しかし、自律型無人潜水機ENDURANCE (Environmentally Non-Disturbing Under-Ice Robotic Antarctic Explorer) 号が行ったテイラー氷河末端の詳細な水中調査より、氷底塩水がテイラー氷河末端の大部分を横切ってボニー湖に流れ込んでいる可能性が示唆された (Stone et al. 2010, Priscu 私信 2011)。さらに、テイラー氷河の北及び南周縁部の双方で、塩分と橙色の変色が層状に存在する場所が多数確認されている (こうした例は、地図1で「推定流出口」とされている)。しかし、このような地形の性質については今後確認が必要である (Keys 1980, Nysten 私信 2010)。塩水は氷河下の圧力のもとで蓄積した後、第一流出物の位置を制御する別の氷底水路を移動しなければ

ならないことが示唆されているが、氷底放出の誘因は確かではない。この作用は、基底融解過程及び変化する応力パターン（テイラー氷河の物理的移動等）が貯留基底氷を通して塩水の道を作る、あるいは基盤岩のくぼみから氷底の液状体を押し出す可能性があるという点で、非周期的な氷河性洪水（jökulhlaups）と類似する（Keys 1980、Higgins et al. 2000、Mikucki 2005）。Badgleyら（2017）は、ブラッドフォールは、水文体系のための「圧力解放弁」の機能を果たしていることを示唆している。そこでは、ブラッドフォールより上流の氷河下に貯留していた塩水が圧力を受けて、凍結濃縮及び潜熱放出のために液状に留まっている基底の割れ目によって氷河内へ注入されるというのだ。最終的に塩水は、氷の流動によって氷河末端へ運ばれた後、ブラッドフォールの表層にある裂け目を通り、一時的な被圧井戸のように放出される。

ブラッドフォールの第一流出口は寒冷（-6℃）で、融解した有機炭素、鉄及び塩化ナトリウムに富み、伝導率は海水の約2.5倍である（Mikucki et al. 2004、Mickuki 2005）。数多い一連の地球化学的証拠は、通常海水に非常に類似した特性を示すブラッドフォールの流出物が海洋起源であることを支持している。研究により、ブラッドフォール流出物の量、空間的広がり、及び地球化学的性質が時間と共に変化すること（Black et al. 1965、Keys 1979、Lyons et al. 2005）、通常の流れと急速な流出現象の間で異なることが立証された（Mikucki 2005）。

生態学及び微生物学

ブラッドフォールの流出物には、明らかに海洋起源とみられる微生物群集が含まれる（Mikucki & Priscu 2007、Mikucki et al. 2009）。細菌は鉄及び硫黄化合物を代謝できる可能性があり、これによって群集が氷底環境において長い期間、おそらく何百万年も生きることができると考えられる（Mikucki et al. 2009）。また微生物は炭素循環において重要な役割を果たしていると考えられ、生態系は外部からの炭素投入なくして存続することが可能である（Mikucki & Priscu 2007）。ブラッドフォールの微生物生態系の特性に関する一次的コントロールは、火星の極冠氷下に見られる条件の類似物を提供できると考えられる（Mikucki et al. 2004）。テイラー氷河の北周縁部で掘削されたトンネル内の基底氷及び堆積物の標本には、生きた細菌群集が確認されている（Christner et al. 2010）。微生物学研究は、ブラッドフォールにおいて記録された微生物群集が他の海洋システムで見られるものと同様であることから、塩水貯留層が海洋起源であることをさらに支持するものとなっている（Mikucki et al. 2004、Mikucki & Priscu 2007）。こうした生態系は圏外生物学研究にとって、特に火星の氷塊に対する類似例として、重要な場所と強調されてきた（Mikucki et al. 2004、Mikucki 2005）。ブラッドフォールの微生物群集に対する一次的コントロールは、微生物生態系と氷河水文システム間の接触範囲は、現在は不明であるが、生態系及び周辺地形の氷河期前史、地層岩石学及び氷河水文学と考えられる（Mikucki 2005、Mikucki & Priscu 2007）。

ブラッドフォールの氷底塩水は、比較的新鮮なボニー湖西部の地表水と湖周辺地域で合流する

(この地帯は夏に融解しやすいため、しばしば「堀」と呼ばれる)。この堀地域は移行帯として機能し、その地球化学的構成は、第一流出地点からの距離が大きいほどブラッドフォールとの類似性が低いものとなる (Mikucki 2005)。またブラッドフォールの流出物は、この堀においてサンタフェ川からの流入物によって希釈される。この流入物は、主にテイラー氷河からの表面融解によるもので、北周縁部に沿って流れている (Mikucki 2005)。ローソン小川も本地区に流れ込み、ブラッドフォールの第一流出口の北約100mのところまでボニー湖に流れ出る。

ブラッドフォールの塩性流出物、有機炭素及び生きた微生物は、時折ボニー湖の西の突出部に放出され、湖の地球化学現象及び生態を変化させるとともに、通常限られている栄養素を提供している (Lyons et al. 1998, 2002, 2005、Mikucki et al. 2004)。ボニー湖への流出物は、深さ20mから25mで観察されており、それより深いところでは、高铁分レベルや海水に近い鉄化学反応を含めブラッドフォールに非常に類似した地球化学的状態を示している (Black & Bowser 1967、Lyons et al. 1998, 2005、Mikucki et al. 2004)。研究により、ボニー湖西部の深水地域の細菌は、ブラッドフォールのものと大きさが似ているが、ドライ谷の他の湖の深水でみられるものよりはるかに小さいことがわかっている (Takacs 1999)。

陸上生態学

ブラッドフォールにおける無脊椎動物群集については詳細な研究はなされていない。しかし、ボニー湖西部の湖岸から採取した土壌試料では、*Scottinema lindsayae*がボニー湖流域でもっとも豊富な線虫類として確認され、また*Eudorylaimus antarcticus*及び*Plectus antarcticus*が記録されている (Barrett et al. 2004)。

人間活動及びその影響

現地での野営地は歴史的に、ボニー湖北西岸の堀に近い地域及びブラッドフォール第一流出口という2つの主な地域に設置されてきた (地図2)。野営地は、石の円で示された多数のテント設営地を含む。キャンプ設営地での活動がブラッドフォールに影響を与える可能性は低いと考えられているが、これによって局所的な土壌攪乱が起きている (Keys, Skidmore 私信 2010)。また、その使用がブラッドフォールに悪影響を及ぼす可能性は低いが、ブラッドフォールの第一流出口の北約160mには、最近までヘリコプター着陸地があった (Hawes, Skidmore 私信 2010)。ローソン小川の西には歩行者用通路ができており、テイラー氷河の北周縁部からおよそ50m~100mのサンタフェ川の上方をこれに並行して伸びている。歩行者用通路は徒歩での通行により、はっきりと見える状態になっており、軽い侵食作用の兆しを見せている。

堰を含む河川の監視設備は、LTERによってサンタフェ川三角州地帯に設置されたものであったが (地図2)、大部分が2010年1月に撤去された。河川の堆積物に埋まっている堰の一部については撤

去が難しいことがわかり、これを撤去する方が現位置に残すより影響が大きくなると考えられるため、留置されることとなった。

多数の使用されていない雪氷学機器がサンタフェ川三角州地域のテイラー氷河北周縁部から回収されたが、いくつかは氷河表面の接近できない場所に残っている又は氷崖の麓の堆積物に埋もれている、もしくはその両方の状態である可能性がある。やがて崩壊、融解するものであるが、過去の科学研究で残された、基底氷に切り込む2つのトンネルが、テイラー氷河北周縁部のブラッドフォールからそれぞれ約600m及び1,000mにある。

6 (ii) 本地区への立ち入り

- 本地区の氷河内構成要素を有する地域内のテイラー氷河表面への立ち入り、その上や上空の移動は、特別な制約の対象とならない（図3）。
- 本地区の氷河表層構成要素への立ち入りは、通常まずヘリコプターによってボニー湖北西岸の指定された着陸地点（東経162度16.47分、南緯77度43.17分、地図2）へ行き、そこから徒歩とする。立ち入りはボニー湖の方向から、あるいはテイラー氷河上流から徒歩で行うこともできる。
- 指定されたヘリコプター着陸地点と野営地から本地区の氷河表層構成要素への歩行者の立ち入り推奨経路はボニー湖から、可能な場合は流出物及びサンタフェ川三角州の有色塩性着氷を避け、氷河表層構成要素の境界南の斜面からテイラー氷河末端を登る経路である（地図2）。急な氷崖は、テイラー氷河の北周縁部に沿って本地区の氷河表層構成要素への徒歩での立ち入りを妨げる。シーズン後半には、ボニー湖周縁部周辺に形成される堀及び水たまりが立ち入りを妨げることがある。
- 歩行路は、テイラー氷河の北周縁部から約50～100mのところ、これと並行にできており、指定されたヘリコプター着陸地点及び野営地から数キロメートル谷を上る通路を提供する。テイラー氷河の北周縁部の急な氷崖によって、同経路から氷河表面への立ち入りは妨げられている。

6 (iii) 本地区内及び本地区の付近にある建造物の位置

本地区内に恒久的な建造物は存在しない。2つの恒久的な調査標識が本地区の北約175mに位置する巨礫に設置されている：NZAP基準点TP01は、めねじ付き管（東経162度16.466分、南緯77度43.175分、標高72.7m）であり、UNAVCO基準点TP02は、5/8"ねじボルト（東経162度16.465分、南緯77度43.175分、標高72.8m）である。巨礫は、ヘリコプター着陸地点の南約15mにあるボニー湖北岸の斜面地に位置している。小川の堰及び量水標が本地区の北西約80m、ローソン小川にある。ボニー湖野営地は本地区の東約4.3kmに位置する。

6 (iv) 本地区付近にあるその他の保護地区の位置

本地区はASMA2 マクマード・ドライ谷内に位置する。もっとも近い南極特別保護地区（ASPA）は、ブラッドフォールの北東22km、テイラー谷に位置するカナダ氷河（APSA131）、ブラッドフォールの北西31kmに位置するライト谷にあるリニアス台地（ASPA138）、及びブラッドフォールの北西約43kmに位置するバーリク谷（ASPA123）である。

6 (v) 本地区内の特別区域

本地区内に特別区域はない。

7. 立ち入り許可証の条件

7 (i) 一般条件

本地区の氷河表層及び氷河内構成要素への立ち入りは、適当な国家当局が発給する許可証に従う場合を除き、禁止されている。本地区に立ち入るための許可証を発給するための条件は、以下の通りである。

- 許可証は他の場所では達成できないやむを得ない科学的、教育的、支援活動上の理由、又は本地区の管理に必要不可欠な理由に対して発給されること。
- 許可された活動は本管理計画に従っているものであること。
- 許可された活動は、本地区の環境的、生態学的、科学的、教育的価値の継続的な保護に係る環境影響評価過程を経て、慎重に配慮されたものであること。
- 許可証は一定期間を対象に発給されること。
- 本地区内では許可証またはその写しを携帯すること。

7 (ii) 本地区への立ち入りの経路、経由及び本地区内での移動

a) 氷河内構成要素（テイラー氷河下流）

- 本地区の氷河内構成要素への航空機、車両、及び徒歩による立ち入り、移動は特別な制限の対象ではない（図3）。

b) 氷河表層構成要素（ブラッドフォール付近）

航空機による立ち入り及び上空通過

- 許可証で認められた場合を除き、遠隔操縦航空機システム（RPAS）を含めた航空機による本地区の氷河表層構成要素の100m（328フィート）より低い高度での上空通過もしくは本地区内への着陸は禁止されている。
- ブラッドフォールへの立ち入りを容易にするためのヘリコプターによる本地区の氷河表層構成要素内への着陸は通常さけるべきである。代わりに、ボニー湖北西岸の指定着陸地点（東

経162度16.47分、南緯77度43.17分、地図2) に着陸すること。

- 許可証が与えられた科学的あるいは管理上の目的で必要な場合、本地区の氷河表層構成要素内でのデータ収集、もしくは必要不可欠な機材の搬送のために、ヘリコプターもしくは他の航空機の利用が可能である。いかなる表層への立ち入りも、実行可能な最大限の注意を払い、氷河上の水路を避けること。

車両による立ち入り及び車両の利用

- 本地区の氷河表層構成要素内での車両の利用は禁止されている。

歩行者による本地区内への立ち入り及び移動

- 本地区の氷河表層構成要素への立ち入り及び本地区内での移動は、通常徒歩で行うこと。
- 本地区の氷河表層構成要素へ立ち入る訪問者は、許可された活動がその場所への立ち入りを特に必要としない限り、ブラッドフォールの第一、第二の流出口のある地域を避けること。
- 指定されたヘリコプター着陸地点及び野営地から本地区の氷河表層構成要素へ歩行者が立ち入る際の推奨経路はボニー湖から、氷河表層構成要素境界の南の斜面からテイラー氷河末端を上る経路である（地図2）。
- 本地区の氷河表層構成要素内の移動は、許可された活動の実行に必要なものに限定すること。

7 (iii)本地区内で実施することのできる活動

- 本地区の生態学的又は科学的価値を脅かさない、もしくはブラッドフォール体系全体を損なわない科学研究。
- モニタリング及び査察を含む必要不可欠な管理活動。
- 他の地域では達成することのできない、教育目的の活動（写真、音声、執筆によるドキュメンタリー報告もしくは教材や教育サービスの制作）。
- 本地区の氷河表層または氷河内構成要素で実施する活動及び実施される可能性がある活動に適用される特別な条件は以下の通りである。

a) 氷河内構成要素

- 本地区の氷河内構成要素への接近を提案している全ての計画について、氷河内の水文システムの特性に潜む不確定要素や、そのような活動が本地区の価値に軽微又は一時的以上の影響を与え得る危険性を事前に検討すること。従って、このような活動に関する事前の環境影響評価には、適切な専門家による意見を得る機会とともに、詳細で確固たる科学的レビューを含むこと。
- このような計画書は、SCAR「氷底水域環境のための行動規範」及び氷底環境への安全

で環境に配慮した接近のために開発された最良の実践慣行や手順を必要に応じて考慮しなければならない（例えば、Committee on Principles of Environmental Stewardship for the Exploration and Study of Subglacial Environments 2007、Arctic and Antarctic Research Institute 2010、Lake Ellsworth Consortium 2011等を参照）。

- 本地区の氷河内構成要素への立ち入りを含むいかなる活動についても、環境への放出を最小化・防止するための管理手法の効果を監視すること。

b) 氷河表層構成要素

- ブラッドフォールの第一流出物に流れ出る氷河上の水路からの融氷水の試料採取は、潜在的な汚染を最小化するため7 (vi) 項に規定する適切な手法をとることを条件に許可される。

7 (iv) 建造物及び機器の設置、改築又は除去

- 許可証に明記されている場合を除き、地区内では建造物を設置してはならない。また、恒久的な調査標識類を除き、恒久的な建造物や設置物は禁止されている。
- 地区内に設置する全ての建造物、科学機器もしくは標識類は、許可証で承認されていること。また国、代表調査員名、設置年を明記すること。これらのものは全て、本地区に与える汚染の危険性を最小限にする材料でできたものであること。
- 地区の選定も含め、建造物または機器の設置、維持、改築、除去は、自然環境及び動植物相への攪乱を最小限にする方法で行われること。
- 許可証の期間が終了した特定の建造物又は機器の撤去は、本来の許可証を発行した当局の責任とし、許可証の条件としなければならない。
- 長期間にわたって本地区の氷河内構成要素の中に装置をそのままの状態に残す場合、汚染のリスクや機器が紛失するリスクを最小限とする規定を設けること。
- 科学的目的やモニタリング目的で、ある装置や物資を氷河下の水環境内に設置することが必要な場合も考えられる。例えば、地球物理学的または生物地球科学的過程を計測するため、もしくは氷河下環境への人間活動の影響をモニタリングするためである。いかなる設置にあたって、当該活動を特に環境影響評価の対象とし、撤去の方法及び撤去が現実的でない場合の危険性と有益性などへの配慮を盛り込むこと。

7 (v) 野営地の位置

- 本地区の氷河内構成要素が広がる区域内的のテイラー氷河表面での野営は制限されていない。
- 本地区の氷河表層構成要素内での野営は禁止されている。
- 指定された野営地は、ブラッドフォールの第一流出口の北約150mにあるボニー湖北西岸に位置する。ボニー湖岸より100m、ローソン小川より北東へ200mほどの地点から、湖岸より

20mほどに位置する恒久的な調査基準点（TP02）へ広がる、東経162度16.34分、南緯77度43.20分近辺の岩の多い地形の緩やかな斜面の地域である。個々のテント設営地は、石を円形に並べて標示されている。可能な限り、ボニー湖岸から最も離れたテント設営地を利用すること。

7 (vi) 本地区内に持ち込むことのできる物質及び生物に関する制限

- 生きている生物、植物体、微生物や土壌を故意に本地区内へ持ち込んで서는ならない。また、偶発的な持ち込みを避けるよう以下の項に示す予防対策を講じなければならない。
- ブラッドフォールの生態学的及び科学的価値を維持し、ブラッドフォール体系への微生物移入の危険を最小限にするため、訪問者は持ち込みに対する特別な予防措置を行う必要がある。特に科学基地を含む他の南極地域又は南極地域外を出所とする病原体、微生物、無脊椎動物もしくは植物の持ち込みが懸念される。本地区の氷河内及び氷河表層の構成要素内で実施すべき予防措置は以下の通りである。

a) 氷河内構成要素

本地区の氷河内構成要素へ立ち入るために提案されているすべての装備は、本地区の氷河内構成要素に対して配備する前に、実行可能な最大限の範囲で、微生物の持ち込みを防ぐために殺菌すること。殺菌は許容できる方法であり、活動のための環境影響評価で指定されたものであること。

b) 氷河表層構成要素

訪問者は、採捕のための機器や標識類が無菌であるよう徹底すること。実行可能な最大限の範囲で、本地区に立ち入る前に、靴類及びその他の装備（スパイク底、安定化装置、リュック類やキャリーバックを含む）を徹底的に洗浄すること。本地区内でのみ、着用する清潔な靴類（スパイク底類を含む）を履き替えることも適切な選択肢である。微生物汚染のリスクを低減するため、本地区内で用いる前に靴類、標本採集器具及び標識類の露出面を消毒すること。殺菌は許容できる方法で行われること。例えば、70%エタノール水溶液、あるいは「Virkon」等の市販で入手可能な液剤で洗浄するなどである。本地区の氷河表層構成要素内で試料を採取する場合は、滅菌防護服を着用すること。防護服は-20℃以下の気温で活動するために適切なもので、最低でも腕や足、身体を覆う殺菌されたオーバーオール及び冷温下で使用するグローブにかぶせることができる殺菌グローブで構成されていること。使い捨ての殺菌／保護用の足カバーは氷河での移動には不適切であるため、使用すべきではない。

- 本地区へ除草剤及び殺虫剤を持ち込んで서는ならない。
- 許可証で指定されている科学的もしくは管理上の目的で持ち込まれる可能性のある放射性核種や安定同位体を含むいかなる化学物質も、許可証が発給された活動の終了時もしくは終了

前に本地区から除去すること。

- 本地区の氷河内構成要素内に、化学トレーサーを持ち込んで서는ならない。また、本地区の氷河表層構成要素に対してトレーサーを使用する場合は、ASMA2 マクマード・ドライ谷の管理計画の付録Bにある「科学研究のための環境指針」の「河川」の項の指針に従う必要がある。
- 許可証で許可された活動に関連する必要不可欠な目的のために必要でない限り、燃料、食料またはその他の物資は地区内に保管してはならない。
- 通常、持ち込まれたすべての物資は定められた期間のみとし、指定期間終了時、もしくは終了前に除去すること。ただし、科学的またはモニタリング目的、もしくはその両方の目的で恒久的に氷河下の水環境に設置されており、それらの配備が環境影響評価において正当とされ規定されている場合はこの限りではない。
- 持ち込んだ全ての物質は、環境へ導入される危険性を最小限にするように保管し、取り扱うこと。
- 本地区の価値を害すると思われる流出が起こった場合、撤去による影響が、物質を現場に放置した場合の影響を上回らないと思われる場合に限って、撤去すること。

7 (vii) 在来の植物及び動物の採捕又はこれらに対する有害な干渉

環境保護に関する南極条約議定書附属書II第3条に基づき、適当な国家当局により、特にその目的のために発給された別個の許可証に従う場合を除き、在来の植物及び動物の採捕又はこれらに対する有害な干渉は禁止されている。

7 (viii) 許可証の所持者によって本地区に持ち込まれた以外の物の収集又は除去

- 許可証に従う場合で、科学的もしくは管理上のニーズを満たすために必要な最小限に抑える場合にのみ、物質を本地区から収集もしくは除去してもよい。
- 本地区の価値を脅かすと思われる人間由来の物質で、許可証の所持者あるいはその他の承認を受けた者によって持ち込まれていないものは、撤去による影響が、物質を現場に放置した場合の影響を上回らないと思われる場合に限って、本地区から除去することができる。この場合、適当な当局に通知すること。

7 (ix) 廃棄物の処理

人間の排泄物も含め全ての廃棄物を地区内から除去すること。

7 (x) 管理計画の目的の達成が継続されるために必要な措置

地区に立ち入るための許可証は以下の場合に発給が可能である。

- 少量の標本収集、もしくは分析や見直しのためのデータ収集を含む、モニタリング及び地区の査察活動を実施するため。
- 道路案内標識、標識、構造物もしくは科学的設備の設置もしくは維持のため。
- 保護措置を実施するため。

7 (xi) 報告に必要な事項

- 締約国は、それぞれに発給された許可証の代表者が、適当な当局へ実施した活動について記述した報告書の提出を行うよう徹底すること。このような報告書は、必要に応じて「南極特別保護地区のための管理計画準備ガイド」に含まれている訪問報告書様式に示す事項を含むこと。適切な場合、国家当局は、本地区の管理及び本管理計画の見直しに役立てるために、訪問報告書の写しを管理計画を提案した締約国へ送付すること。
- 締約国はこのような活動の記録を維持し、毎年の情報交換において、その権限の対象者によって実施された活動の要約説明を、本管理計画の有効性の評価が十分できる程度の詳細さで提供すること。締約国は可能な限り、本地区の管理計画の見直し及び科学的な利用に役立てられるよう、当該の報告書の原本又は写しを一般利用可能なアーカイブに保管し、利用記録を維持すること。
- 氷河内構成要素に立ち入った場合、報告書にはさらに±1mの精度での掘削地点の位置、掘削方法の詳細、使用した掘削潤滑油の種類を記録すること。氷河内構成要素に生じたいかなる汚染も報告しなければならない。報告書には、汚染対策の効果（特に微生物管理について）を評価するために実施したモニタリングの結果を含めること。
- 実施した全ての活動や措置について、又は承認された許可証に含まれていない物質が放出され除去されなかった場合、もしくはその両方の場合はすべて、適当な当局に通知する必要がある。

8. 参考文献

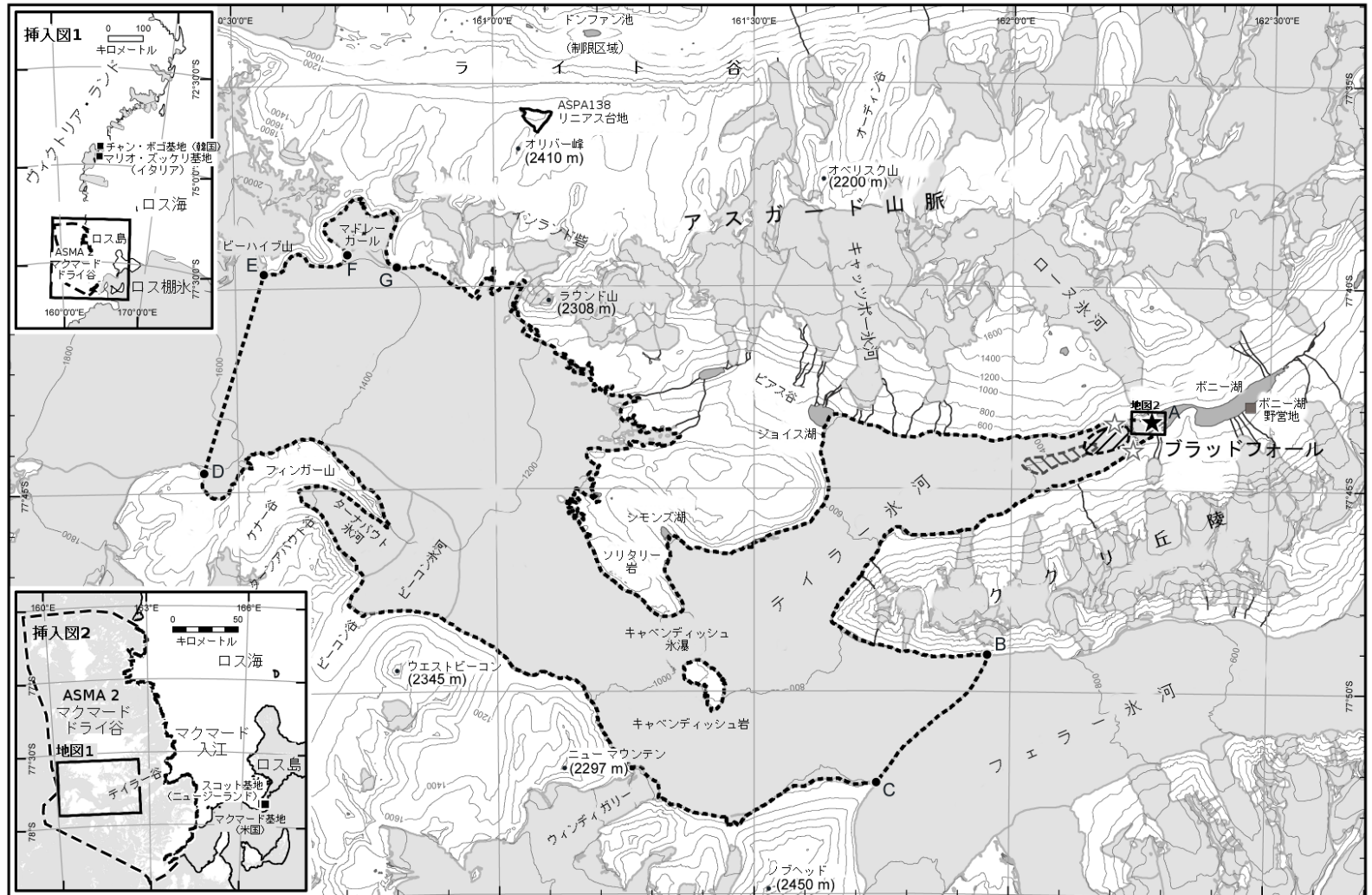
- Aciego, S.M., Cuffey, K.M., Kvanaugh, J.L., Morse, D.L. & Severinghaus, J.P. 2007. Pleistocene ice and paleo-strain rates at Taylor Glacier, Antarctica. *Quaternary Research* 68: 303–13.
- Angino, E.E., Armitage, K.B. & Tash, J.C. 1964. Physicochemical limnology of Lake Bonney, Antarctica. *Limnology and Oceanography* 9 (2): 207–17.
- Arctic and Antarctic Research Institute 2010. Water sampling of the subglacial Lake Vostok. Final Comprehensive Environmental Evaluation. Russian Antarctic Expedition, Arctic and Antarctic Research Institute. St Petersburg, Russia.
- Badgeley, J.A., Pettit, E.C., Carr, C.G., Tulaczyk, S., Mikucki, J.A., Lyons, W.B. & MIDGE Science Team 2017. An englacial hydrologic system of brine within a cold glacier: Blood Falls, McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Journal of Glaciology* 63(239): 387-400.

- Baggenstos, D., Bauska, T.K., Severinghaus, J.P., Lee, J.E., Schaefer, H., Buizert, C., Brook, E.J., Shackleton, S. & Petrenko, V.V. 2017. Atmospheric gas records from Taylor Glacier, Antarctica, reveal ancient ice with ages spanning the entire last glacial cycle. *Climate of the Past* 13(7): 943-58. <https://doi.org/10.5194/cp-13-943-2017>, 2017.
- Barrett, J.E., Virginia, R.A., Wall, D.H., Parsons, A.N., Powers, L.E. & Burkins, M.B. 2004. Variation in biogeochemistry and soil biodiversity across spatial scales in a polar desert ecosystem. *Ecology* 85 (11): 3105-18.
- Bauska, T.K., Baggenstos, D., Brook, E.J., Mix, A.C., Marcott, S.A., Petrenko, V.V., Schaefer, H., Severinghaus J.P. & Lee J.E. 2016. Carbon isotopes characterize rapid changes in atmospheric carbon dioxide during the last deglaciation. *PNAS* 113(13): 3465-70.
- Black, R.F. & Bowser, C.J. 1967. Salts and associated phenomena of the termini of the Hobbs and Taylor Glaciers, Victoria Land, Antarctica. International Union of Geodesy and Geophysics, Commission on Snow and Ice. Publication 79: 226-38.
- Black, R. F., Jackson, M. L. & Berg, T. E., 1965. Saline discharge from Taylor Glacier, Victoria Land, Antarctica. *Journal of Geology* 74: 175-81.
- Bliss, A.K., Cuffey, K.M. & Kavanaugh, J.L. 2011. Sublimation and surface energy budget of Taylor Glacier, Antarctica. *Journal of Glaciology* 57 (204): 684-96.
- Burkins, M.B., Virginia, R.A., Chamberlain, C.P. & Wall, D.H. 2000. Origin and Distribution of Soil Organic Matter in Taylor Valley, Antarctica. *Ecology* 81 (9): 2377-91.
- Campbell, I.B. & Claridge, G.G.C. 1987. Antarctica: soils, weathering processes and environment (Developments in Soil Science 16). Elsevier, New York.
- Carmichael, J.D., Pettit, E.C., Creager, K.C. & Hallet, B. 2007. Calving of Taylor Glacier, Dry Valleys, Antarctica. *Eos Transactions AGU* 88 (52), Fall Meeting Supplement, Abstract C41A-0037.
- Christner, B.C., Doyle, S.M., Montross, S.N., Skidmore, M.L., Samyn, D., Lorrain, R., Tison, J. & Fitzsimons, S. 2010. A subzero microbial habitat in the basal ice of an Antarctic glacier. AGU Fall Meeting 2010, Abstract B21F-04.
- Committee on the Principles of Environmental Stewardship for the Exploration and Study of Subglacial Environments, 2007. Exploration of Antarctic Subglacial Aquatic Environments: Environmental and Scientific Stewardship. Polar Research Board, National Research Council, National Academies Press, Washington D.C. (<http://www.nap.edu/catalog/11886.html>).
- Foley, N., Tulaczyk, S., Auken, E., Schamper, C., Dugan, H., Mikucki, J., Virginia, R. & Doran, P. 2015. Helicopter-borne transient electromagnetics in high-latitude environments: An application in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Geophysics* 81(1): WA87-WA99.
- Fountain, A.G., Lyons, W.B., Burkins, M.B. Dana, G.L., Doran, P.T., Lewis, K.J., McKnight, D.M., Moorhead, D.L., Parsons, A.N., Priscu, J.C., Wall, D.H., Wharton, Jr., R.A. & Virginia, R.A. 1999. Physical controls on the Taylor Valley ecosystem, Antarctica. *BioScience* 49 (12): 961-71.
- Fountain, A.G., Nylen, T.H., MacClune, K.J., & Dana, G.L. 2006. Glacier mass balances (1993-2001) Taylor Valley, McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Journal of Glaciology* 52 (177): 451-465.
- Lake Ellsworth Consortium 2011. Proposed exploration of subglacial Lake Ellsworth, Antarctica: Draft Comprehensive Environmental Evaluation. British Antarctic Survey, Cambridge.

- Hall, B.L. & Denton, G.H. 2000. Radiocarbon Chronology of Ross Sea Drift, Eastern Taylor Valley, Antarctica: Evidence for a Grounded Ice Sheet in the Ross Sea at the Last Glacial Maximum. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 82 (2-3): 305-36.
- Hamilton, W. L., Frost, I. C. & Hayes P. T. 1962. Saline Features of a Small Ice Platform in Taylor Valley, Antarctica. USGS Professional Paper 450B. US Geological Survey: B73-76.
- Hendy, C.H., Healy, T.R., Rayner, E.M., Shaw, J. & Wilson, A.T. 1979. Late Pleistocene glacial chronology of the Taylor Valley, Antarctica, and the global climate. *Quaternary Research* 11 (2): 172-84.
- Higgins, S.M., Denton, G. H. & Hendy, C. H. 2000. Glacial Geomorphology of Bonney Drift, Taylor Valley, Antarctica. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography* 82 (2-3): 365-89.
- Holt, J.W., Peters, M.E., Morse, D.L., Blankenship, D.D., Lindzey, L.E., Kavanaugh, J.L. & Cuffey, K.M. 2006. Identifying and characterising subsurface echoes in airborne radar sounding from a high-clutter environment in the Taylor Valley, Antarctica. 11th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 19-22, 2006, Columbus Ohio.
- Hubbard, A., Lawson, W., Anderson, B., Hubbard, B. & Blatter, H. 2004. Evidence of subglacial ponding across Taylor Glacier, Dry Valleys, Antarctica. *Annals of Glaciology* 39: 79–84.
- Johnston, R.R., Fountain, A.G. & Nylén, T.H. 2005. The origins of channels on lower Taylor Glacier, McMurdo Dry Valleys, Antarctica, and their implication for water runoff. *Annals of Glaciology* 40: 1-7.
- Kavanaugh, J.L. & Cuffey, K.M. 2009. Dynamics and mass balance of Taylor Glacier, Antarctica: 2. Force balance and longitudinal coupling. *Journal of Geophysical Research* 114: F04011.
- Kavanaugh, J.L., Cuffey, K.M., Morse, D.L., Conway, H. & Rignot, E. 2009a. Dynamics and mass balance of Taylor Glacier, Antarctica: 1. Geometry and surface velocities. *Journal of Geophysical Research* 114: F04010.
- Kavanaugh, J.L., Cuffey, K.M., Morse, D.L., Bliss, A.K. & Aciego, S.M. 2009b. Dynamics and mass balance of Taylor Glacier, Antarctica: 3. State of mass balance. *Journal of Geophysical Research* 114: F04012.
- Keys, J.R. 1979. The saline discharge at the terminus of Taylor Glacier. *Antarctic Journal of the United States* 14: 82-85.
- Keys, J.R. 1980. Salts and their distribution in the McMurdo region, Antarctica. Chapter 8 in unpublished PhD thesis held at Victoria University of Wellington NZ, and Byrd Polar Research Center, Columbus, Ohio: 240-82.
- Lyons, W.B., Nezat, C.A., Benson, L.V., Bullen, T.D., Graham, E.Y., Kidd, J., Welch, K.A. & Thomas, J.M. 2002. Strontium isotopic signatures of the streams and lakes of Taylor Valley, Southern Victoria Land, Antarctica: chemical weathering in a polar climate. *Aquatic Geochemistry* 8 (2): 75-95.
- Lyons, W.B., Tyler, S.W., Wharton Jr R.A., McKnight D.M. and Vaughn B.H. 1998. A Late Holocene desiccation of Lake Hoare and Lake Fryxell, McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Antarctic Science* 10 (3): 247-56.

- Lyons, W.B., Welch, K.A., Snyder, G., Olesik, J., Graham, E.Y., Marion, G.M. & Poreda, R.J. 2005. Halogen geochemistry of the McMurdo dry valleys lakes, Antarctica: Clues to the origin of solutes and lake evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69 (2): 305–23.
- Mager, S., Fitzsimons, S., Frew, R. & Samyn, D. 2007. Stable isotope composition of the basal ice from Taylor Glacier, southern Victoria Land, Antarctica. U.S. Geological Survey and The National Academies; USGS OF-2007-1047, Extended Abstract 109.
- Mager, S. 2006. A compositional approach to understanding the formation of basal ice in Antarctic glaciers. Unpublished PhD Thesis; University of Otago, Dunedin, New Zealand.
- Marchant, D. R., Denton, G. H. & Sugden, D. E. 1993. Miocene glacial stratigraphy and landscape evolution in the western Asgard Range, Antarctica. *Geografiska Annaler* 75:269-302.
- Mikucki, J. A. 2005. Microbial Ecology of an Antarctic Subglacial Environment. Unpublished PhD Thesis; Montana State University, Bozeman, Montana.
- Mikucki, J.A., Foreman, C.M., Sattler, B., Lyons, W.B. & Priscu, J.C. 2004. Geomicrobiology of Blood Falls: An iron-rich saline discharge at the terminus of the Taylor Glacier, Antarctica. *Aquatic Geochemistry* 10:199-220.
- Mikucki, J.A., Pearson, A., Johnston, D.T. Turchyn, A.V., Farquhar, J., Schrag, D.P., Anbar, A.D., Priscu, J.C. & Lee, P.A. 2009. A contemporary microbially maintained subglacial ferrous ‘ocean’. *Science* 324: 397-400.
- Mikucki, J.A. & Priscu, J.C. 2007. Bacterial diversity associated with Blood Falls, a subglacial outflow from the Taylor Glacier, Antarctica. *Applied and Environmental Microbiology* 73 (12): 4029-39.
- Mikucki, J.A., Auken, E., Tulaczyk, S., Virginia, R.A., Schamper, C., Sørensen, K.I., Doran, P.T., Dugan, H. & Foley, N. 2015. Deep groundwater and potential subsurface habitats beneath an Antarctic dry valley. *Nature Communications* 6: 6831.
- Petrenko, V.V., Smith, A.M., Schaefer, H., Riedel, K., Brook, E., Baggenstos, D., Harth, C., Hua, Q., Buizert, C., Schilt, A., Fain, X., Mitchell, L., Bauska, T.K., Orsi, A., Weiss, R.F. & Severinghaus, J.P. 2017. Minimal geologic methane emissions during Younger Dryas – Preboreal abrupt warming event. *Nature* 548: 443-46.
- Pettit, E.C., Nysten, T.H., Fountain, A.G. & Hallet, B. 2006. Ice Cliffs and the Terminus Dynamics of Polar Glaciers. *Eos Transactions AGU* 87 (52) Fall Meeting Supplement, Abstract C41A-0312.
- Pugh, H.E., Welch, K.A., Lyons, W.B., Priscu, J.C. & McKnight, D.M. 2003. The biogeochemistry of Si in the McMurdo Dry Valley lakes, Antarctica. *International Journal of Astrobiology* 1 (4): 401–13.
- Samyn, D., Fitzsimmons, S.J. & Lorrain, R.D. 2005. Strain-induced phase changes within cold basal ice from Taylor Glacier, Antarctica, indicated by textural and gas analyses. *Journal of Glaciology* 51 (175): 165–69.
- Samyn, D., Svensson, A. & Fitzsimons, S. 2008. Discontinuous recrystallization in cold basal ice from an Antarctic glacier: dynamic implications. *Journal of Geophysical Research* 113 F03S90, doi:10.1029/2006JF000600.
- SCAR 2011. SCAR Code of Conduct for the exploration and research of subglacial aquatic environments. Information Paper 33, ATCM XXXIV, Buenos Aires.

- Souchez, R., Samyn, D., Lorrain, R., Pattyn, F. & Fitzsimons, S. 2004. An isotopic model for basal freeze-on associated with subglacial upward flow of pore water. *Geophysical Research Letters* 31 L02401.
- Spigel, R.H., Priscu, J.C., Obryk, M.K., Stone, W. & Doran, P.T. (in press 2018). The physical limnology of a permanently ice-covered and chemically stratified Antarctic lake using high resolution spatial data from an autonomous underwater vehicle. *Limnology and Oceanography*.
- Stone, W., Hogan, B., Flesher, C., Gulati, S., Richmond, K., Murarka, A., Kuhlman, G., Sridharan, M., Siegel, V., Price, R.M., Doran, P.T. & Priscu, J. 2010. Design and Deployment of a Four-Degrees-of-Freedom Hovering Autonomous Underwater Vehicle for sub-Ice Exploration and Mapping. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment* 224: 341–61.
- Stuvier, M., Denton, G.H., Hughes, T.J. & Fastook, J.L. 1981. History of the marine ice sheet in West Antarctica during the last glaciation: a working hypothesis. In Denton, G. H. and Hughes, T. H., Eds. *The last great ice sheets*. Wiley-Interscience, New York: 319–436.
- Takacs, C.D. 1999. Temporal Change in Bacterial Plankton in the McMurdo Dry Valleys. Unpublished Ph.D. Thesis; Montana State University, Bozeman, Montana.



地図1 ASPA172テイラー氷河下流及びブラッドフォールの氷河内保護地区境界

2018年3月15日発行第3版 (地図ID: 06.03.06-LN13.07)
環境調査&評価

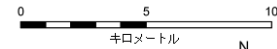


- 無氷地
- 永久氷
- 湖/池
- 河川
- 標高線 (200m)
- 山頂

- 南極特別管理地区(ASMA)境界線
- 南極特別保護地区(ASPA)境界線 (既存)
- 氷河内保護地区境界線 (垂直に、氷河の底面から氷河表面下100mまでの範囲)
- 境界点
- 施設区域

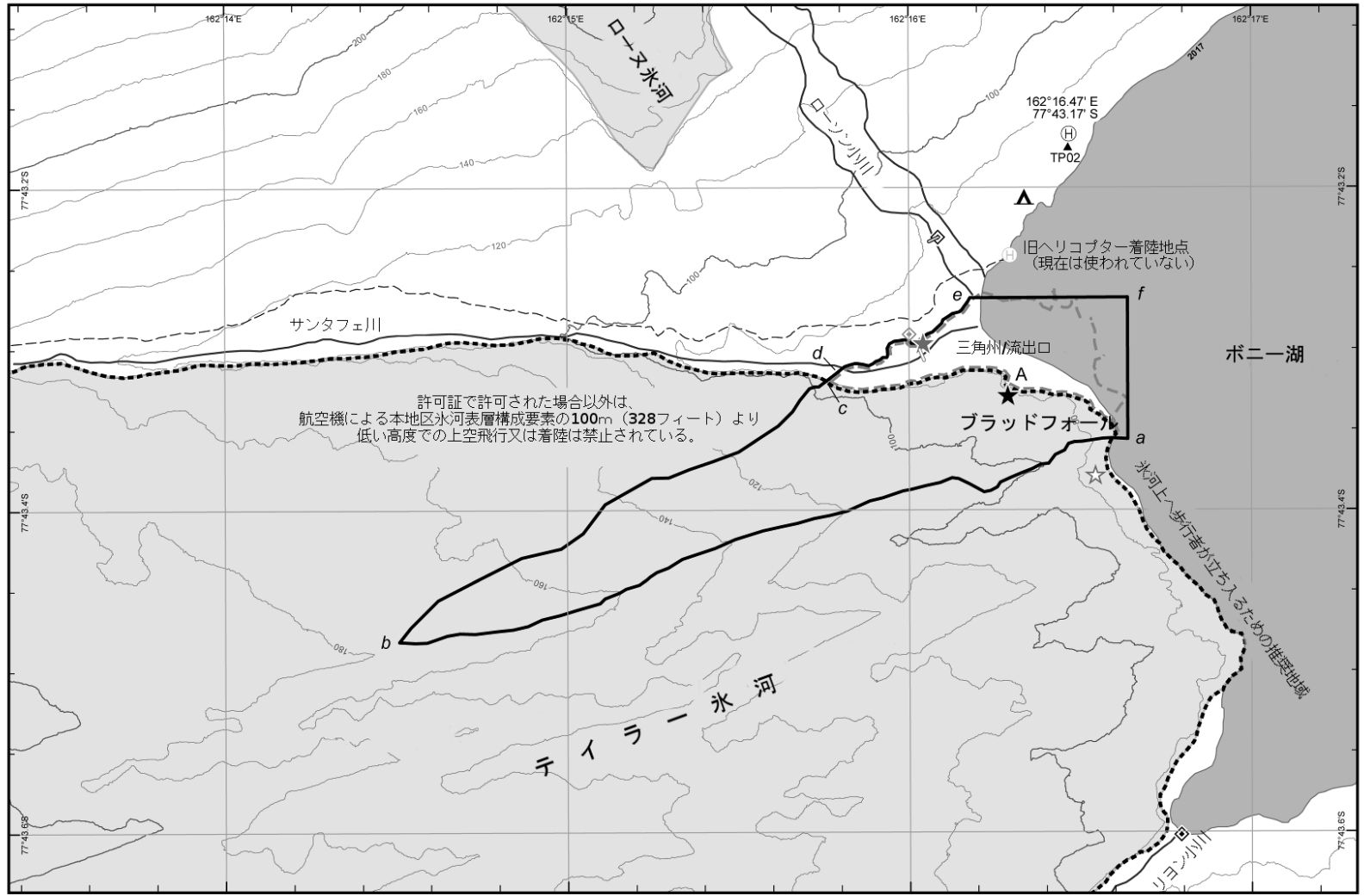
- ブラッドフォールの氷河下の塩水貯留層 (推定)
- Hubbardら (2004) による
- Keys(1980) による
- ★ ブラッドフォール第一流出口
- ☆ ブラッドフォール推定流出口

データソース: 氷河・地形: 米国地質調査所 (USGS)の 1:50K map series
氷底塩水貯留層: Hubbardら (2004)、Keys(1980)
流出地域: T. NyleriによるGPS調査 (2006年12月)



投影法: ランベルト正角円錐図法

回転楕円体・水平基準点: WGS84



地図2 ASPA172 ブラッドフォールの氷河内及び氷河表層の保護地区境界

2018年3月15日発行第4版 (地図ID: 06.03.06-LN14.10)
環境調査と評価



- | | | | | |
|---------------|-------------|---------------|------------|----------------|
| 無氷地 | 河川 | 境界点 | 調査標識 | 量水標 |
| 氷河 | 三角州/流出口地域 | ブラッドフォール第一流出口 | 指定野営地 | 量水標 (1月10日に撤去) |
| 湖 (湖岸が確認された年) | 氷河内保護地区境界線 | ブラッドフォール第二流出口 | ヘリコプター着陸地点 | 堰 |
| 計曲線 (100m) | 氷河表層保護地区境界線 | ブラッドフォール推奨流出口 | 既存の歩行路 | 堰 (1月10日に撤去) |
| 標高線 (20m) | | | | |

0 100 200
メートル

投影法: ランベルト正角円錐図法
図射標円体・水平基準点: WGS84

データソース: 等高線: 米国地質調査所 (USGS) の 2m LIDAR DEM より
氷河・氷路: 航空画像 (1993) からデジタル化
湖: WorldView 2画像 (2017年11月) のオルソレクタリからデジタル化
野営地・量水標・堰: 欧州研究局 (ERA) による現地調査 (2008年11月)
ヘリコプター着陸地点: 南極探検協約 (ASCC) による現地調査
流出地組: T. NylenによるGPS調査 (2006年12月)