

—レビュー—

Review

米国・フランス・ドイツ及び日本の内陸トラバースの現状

石沢賢二^{1*}

Current transportation systems for Antarctic inland stations operated by the U.S.A., France, Germany and Japan

Kenji Ishizawa^{1*}

(2007 年 12 月 27 日受付; 2008 年 1 月 15 日受理)

Abstract: Inland traverses conducted by the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) and the other countries (USA, France and Germany) are reviewed. The performances such as weight, traction force, speed and fuel consumption of the tractors and snow vehicles are compared. The usage of various types of sledges is examined and driving operation on soft snow surface is also described. Furthermore the method of camping is explained. Finally, a new traverse system that JARE has to study and develop is discussed. The author proposes a basic transportation system for the future, incorporating the technology used by other countries.

要旨: 南極大陸で日本南極地域観測隊が実施してきた内陸トラバース輸送と、米国、フランス、ドイツが行っている最近の輸送形態をレビューした。雪上車や牽引トラクターについては、重量、牽引力、速度、燃料消費率などの性能を比較した。橇については、スキーマの形状、接地圧、牽引方法、軟雪地帯での走行方法などについても調査した。さらに、キャンプでの生活方法などにも言及した。最後に、各国の現状を参考にして今後日本隊が研究・開発しなければならない新しい輸送方法について考察を行い基本的な態勢を提案した。

1. はじめに

日本南極地域観測隊では第1次隊以来、小型雪上車を導入し砕氷船から昭和基地までの氷上輸送や内陸・沿岸調査旅行を行ってきた。第8次隊では昭和基地から米国のプラトー基地までの往復 2200 km の極点旅行予備調査を行い、第9次隊では往復 5180 km、全行程 141 日に及ぶ昭和基地から南極点を往復する調査旅行が行われた (Murayama, 1971)。この時使われた雪上車は当時の防衛庁が中心となって開発した KD60 型だった (細谷, 2001)。またこの調査旅行では、大型鉄製コンテナ橇を持ち込んだがうまく走行せず、実用になったのは第2次隊で開発した 2t 積み木製橇 (堀内, 1987) であった。日本南極地域観測隊の雪上車と

¹ 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.
E-mail: ishizawa@nipr.ac.jp

橇を使った内陸トラバース輸送の行動形態は、この極点往復旅行で確立されたと言える。それ以来、第10次隊から始まるみずほ高原を始めとした内陸への展開も、雪上車と2t積み木製橇の組み合わせで行われた。その後、第18次隊で新たに搬入したゴム履帯式のSM50型は、KD60型に比べて車両重量が軽く、低接地圧であるためどんな雪面状態にも適応しトラバースの広域化・高速化を実現した。

第11次隊によるみずほ基地の設置以来、大きな内陸基地の建設がなかったため日本隊には大規模な内陸トラバース輸送の必要性はなかった。そのため、土木用ブルドーザを牽引車として試験的に使用したことはあった（国立極地研究所編，1977）が、継続して使用することはなかった。また大型橇の試作も単発的には行われたが、様々な不具合があり失敗を克服して継続し取り組む態勢はできなかった。しかし第26次隊から始まったあすか基地の建設では多くの物資を輸送する必要があったため、土木用ブルドーザを3台導入した（国立極地研究所編，1987）が、いったん基地に物資を輸送した後は、主に除雪機などとして使われ輸送トラクターとして活躍したとは言えなかった。内陸トラバース輸送が本格的に必要とされたのは、ドームふじ基地での深層掘削計画（渡邊ら，2002）の時である。この計画では、SM100型を新たに開発するとともに牽引ブルドーザ3台を搬入した。第32次隊（1991年）から本格的輸送が始まったこの深層掘削プロジェクトは、第48次隊（2007年）で一応終了した。しかし内陸での新たな観測活動は、どのような学問分野になるにせよ今後再開されることは間違いない。そのとき第一に必要なのは物資の輸送である。この時の新たな輸送態勢を考えるために、日本と外国の内陸トラバース輸送の現状をレビューし、日本隊の今後の基本輸送態勢を考察する。

2. 深層掘削プロジェクト用に開発した雪上車と牽引ブルドーザー

2.1. SM100型雪上車

第33次隊（1992年）で試作車2台を搬入した。第18次隊（1977年）で搬入したSM50型が防衛庁の78式雪上車をベースに改造したのに比べ、このプロジェクトのため新たに開発した車両で、 -60°C まで運用できる性能を有する。高所での使用を考慮してターボチャージャー付きディーゼルエンジンを搭載し、2t積み木7台まで牽引できる（表1，図1）。外国隊で使用している雪上車は、スキー場で使われる車種を改造しているのがほとんどで、これほど低温性能を持った機種はない。エンジン始動からキャンプまで、雪上車単体ですべてが完結することが設計思想であった。すなわち車内にプレヒーターを設置し、外部電源や熱源に頼らず低温環境でのエンジン始動を可能にした。また後部にキャビンを設け、食堂・キッチン・寝室・通信室などキャンプに必要な機能を持たせた。この方針は外国隊の思想と大きく異なる。外国隊の車両はあくまでも橇を牽引するためのトラクターという考えであり、生活用のキッチンや寝室及び電源などは後部に牽引する大型コンテナ橇に設備する。キャンプ

表 1 SM100 型雪上車と D41PL トラクターの仕様比較
 Table 1. Comparison of SM100 type snow vehicle and D41PL tractor.

項目	SM100	D40PL-5A
長さ×幅×高さ (mm)	6910×3730×3240	5130×3460×3035
車両重量 (t)	10.5	13.0
最高速度 (km/h)	21	8.7
エンジン	いすゞ 6RB1 (ターボチャージャー)	小松 S6D105-1
馬力 (kW/rpm)	205.9/2000	69.9/2350
充電発電機	24V・90A	24V・50A
バッテリー	220Ah×2個	200Ah×2個
動力伝達方式	トルクコンバーター	機械式
変速機	自動変速機	1-5速手動式
最大燃料消費量 (ℓ/km)	4.4	4.5-5
接地圧 (kPa)	11.8	20.6
牽引能力	2 t 積み木製橇7台 (22 t)	2 t 積み木製橇9台 (29 t)



図 1 SM100 型雪上車
 Fig. 1. SM100 type snow vehicles.

地に到着すれば橇に積んだ大きな発電機の電力で、居住施設の暖房や車両のエンジンを保温する。電気焼却式トイレやシャワーまで備えた橇もある。キッチンや寝台を備えた居住カブスを牽引する方式は日本隊でも使われていたが、橇の振動が激しく板バネが破損したり、内部のラッシングに時間がかかるなど使い勝手が悪く、SM100 型が搬入されて以来使用しなくなった。

2.2. 牽引トラクター

ドームふじ基地の燃料や建物資材などを輸送するため、合計 3 台の土木用ブルドーザーを搬入した。第 32 次隊で 1 台、第 34 次隊で 2 台である。機種は、小松 D40PL-5A (表 1) である。現在はそのうちの 2 台が S16 地点にあり、それぞれの稼働時間は 2007 年 9 月現在、2986 時間及び 3076 時間である。もう 1 台はドームふじ基地にあり、走行装置が故障し走行不能である。日本隊にとって内陸トラバース輸送での本格的なブルドーザー利用は、このときが初めてと言ってよい。200ℓ ドラム缶 12 本を積載した 2t 積み橇 9 台を牽引できた。しかし第 32



図 2 小松 D40PL-5A を使ったドームふじ基地までの輸送
Fig. 2. Transportation to Dome Fuji Station by Komatsu D40PL-5A.

次隊から第 35 次隊まで使われただけで、その後はトラクターとしては使われなかった。サスツルギなどを乗り越えるときの衝撃が激しいこと、走行速度が遅いことなどの理由で隊員には人気がなかった。このブルドーザーは、既存の機種にシベリア向けの仕様を取り入れたもので、低温始動用のプレヒーター、接地圧を下げるための湿地履帯などを特別に装備した。また重心を前部に移動するため、前部排土板にドラム缶 3 本や重量物を搭載し牽引力を増した（図 2）。さらに、熱線入りガラスや振動を和らげる特製椅子なども装備した。しかし極点旅行以来、内陸トラバース輸送での雪上車に対する絶対的信頼とトラクター輸送に対する乏しい理解しかない日本隊には、この輸送方式は定着しなかった。一方、外国隊のトラバース輸送の主力はトラクターである。フランス隊では、雪上車が単車で先導し、雪面の凹凸を削り後続トラクターの走行を援助する。米国隊は、小型雪上車の前部先端にクレバス探知レーダーを取り付けルートの安全を確保する。橇やトレーラーの牽引はすべて牽引トラクターである。このようなルートの整地を行えば、近年、GPS でのナビゲーション技術の発達などによりブルドーザーを使った無人走行も可能と思われる。以下に日本隊のブルドーザー利用の実績をまとめておく。

2.3. D40PL-5A ブルドーザーの実績

2.3.1. 組み立て

第 32 次隊: 初号機 1 台の組み立ては、昭和基地から海を隔てて 18 km の大陸上の S16 地点で行った（図 3）。1991 年 1 月 13 日に S61-A ヘリコプターでのスリング 12 便と機内輸送 1 便の合計 13 便で行った。4-5 人の作業で SM50 型に取り付けたヒアブクレーンで組み立てた。4 日間 52 時間の作業だった。

第 34 次隊: 1992 年 12 月 23 日から S16 地点にて 2 台の組み立てを行った。ヘリコプターによるスリングは 22 便であった。1 台目は 26 日に、2 台目は 29 日にそれぞれ組み立てが完



図 3 小松 D40PL-5A の S16 地点での組み立て

Fig. 3. Assembly operation of Komatsu D40PL-5A at S16 point.

了した。合計 59 人日の作業量だった。

2.3.2. 牽引能力

200l ドラム缶 (200kg) 12 本を積んだ木製橇 8 台と雑品を積載した橇 1 台を牽引できた。橇の空重量が 850kg なので、橇も含んで約 29t の牽引力となる。SM100 型の最大牽引力は、ドラム缶橇 7 台で約 22t である。

2.3.3. 燃費

往路牽引している時は、4.5-5l/km、復路は 2-2.5l/km である。これは SM100 型のそれと大きくは変わらない。

2.3.4. 不具合・故障

以下のような不具合・故障はあったが、雪上車に較べてスピードが遅いため、雪上車に比べると非常に少ない (国立極地研究所編, 1993, 1994)。

- ・バッテリーリレー作動不良
- ・作動油タンク減圧バルブ落下 (フランジ部の蟻付け部分)
- ・エアークリーナーエレメント部への雪の浸入
- ・フロントガラス熱線のヒューズ切れ
- ・エアークリーナーへの雪の詰まり、チェンジレバーの固着 (クーリングファンの向きを吐き出しで行っていた時) 吸い込みに切り替え後は改善された。
- ・排土板にドラム缶 3 本を積み付け走行したが、排土板が徐々に落下し頻繁に調整の必要あり。
- ・ギヤ油漏れ (34-1 号機の左終減速ケース取り付け面ガスケットよりにじむ)
- ・プレウォーマーヒューズ切れ
- ・プレウォーマーフューエルポンプのシャフト折損

3. 2t 積み木製橇

第2次隊で開発されたもの（堀内，1987）で，それ以来 50 年間継続して使用されてきた（図4）．日本の内陸トラバース輸送は，この橇の存在なしには成り立たなかったと言ってもよい．部品のほとんどすべてが木製であるため，軽量でしなりがあり，サスツルギなどの悪路でも柔軟に走行し結果的に耐久性に優れている．また構造が簡単なため，走行が不能になるなどの大きな故障は起きにくい．さらに滑走面の長さが 3300 mm，両軸中心間が 1600 mm と小さく，850 kg と軽量であるため旋回半径が小さくいわゆる小回りが効く．みずほ基地ややまと山脈など比較的沿岸に近い氷床で使用している時は故障は少なかったが，ドームふじ基地までのルート中の凹凸の激しいサスツルギ地帯を通過するようになってから橇の傷みは激しくなった．大きな欠点は二つありいずれも橇の構造と関係している．一つは，ほとんどの大型橇が採用しているボギー台車でないためスムーズな水平旋回性がないことである．ボギー台車（図5）とは，滑走面（スキー）に対して水平方向に回転可能な装置を持つ台車の総称であり，台車がスキーと独立して回転するため曲線通過が容易になる．日本隊の 2t 積み木製橇はスキー部と荷台が固定式なため，旋回半径が小さい時には Y 字型に配置したワイヤーの 1 本だけに荷重をかけて引くことになる．二つめは，前後に長い 2 本のスキーで構成されているためピッチングが激しいことである．多くの大型橇は 4 本のスキーを採用し，それぞれのスキーの中心に水平軸を設けて雪面の凹凸をスムーズに乗り越えるように工夫されて

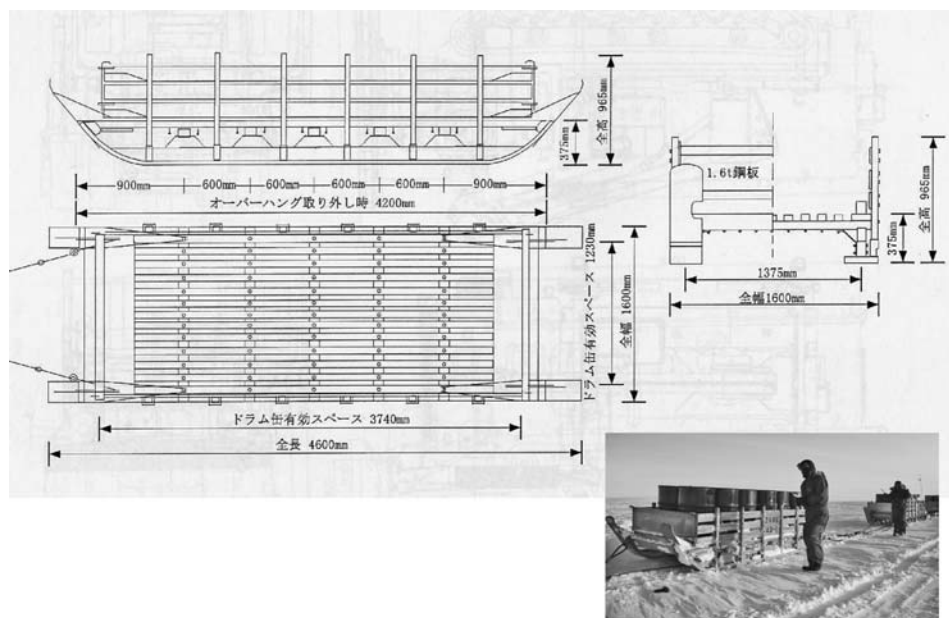


図 4 2t 積み木製橇

Fig. 4. 2t wooden sledge.

いる（図6）。この櫓が大きなサスツルギを超える時には図7のようになり、通過後に大きな衝撃が荷台にかかりドラム缶の漏油などが問題になっている。さらに牽引棒（トーパー）の代わりにワイヤーで連結されているため、牽引開始時には櫓の摩擦抵抗を分散できる利点はあるが、下り斜面ではブレーキが効かないため、櫓の前後に雪上車を配置して櫓の暴走を防ぐなどの工夫が必要となる（図8）。櫓を4台以上直列に連結する時は、前部に配置した櫓へ

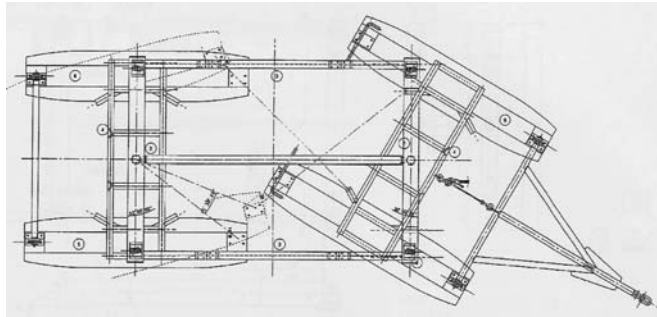


図5 ボギー式櫓
Fig. 5. Bogy type sledge.

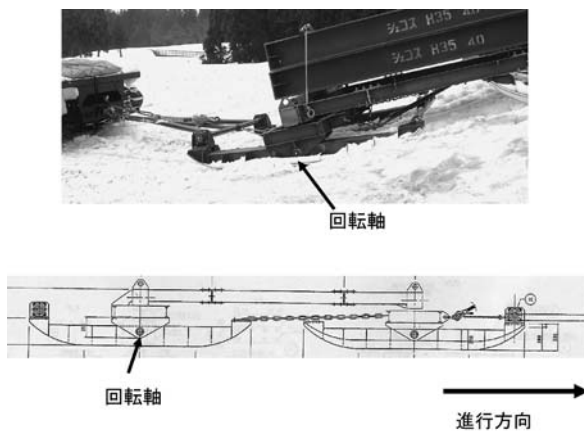


図6 雪面の凹凸を乗り越えるための回転軸機構
Fig. 6. Pivot system for bridging an irregular snow surface.

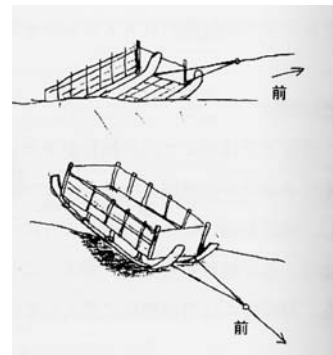


図7 2t積み木製櫓がサスツルギを乗り越えるときの衝撃荷重
Fig. 7. Shock loading when a 2t wooden sledge hurdles sastrugi.

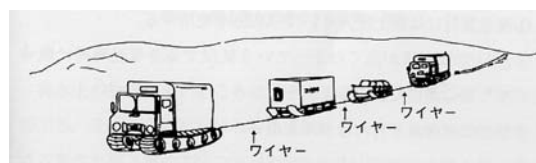


図8 下り坂での2t積み木製櫓の牽引走行
Fig. 8. Traction operation for 2t wooden sledges on a decline.

の集中加重を防ぐため橇下部に太いメインワイヤーをはわせ、このメインワイヤーから細いワイヤーを Y 字型に連結する必要がある (図 9)。このメインワイヤーは、長さ 10m で 60kg と重く橇編成時には大きな労力を必要とする。また接地圧は積載状態で 147 hPa (表 2) と低い、スキー滑走面の幅が 225 mm と狭いためか軟雪地帯ではスキー部が沈下し (図 10)、走行抵抗が大きく内陸奥地での使用には向かない。またスキー前後のベント部の曲率が大きいことも走行抵抗増大に影響していると思われる。

4. 米国のトラバース輸送

4.1. マクマード基地から南極点基地までのトラバース概要

LC130 大型輸送機による輸送コストを削減し、この航空機による野外観測支援の時間を増やすため、トラクターと橇による大型物資の輸送を計画した (Blaisdell *et al.*, 1997)。マクマード基地から南極点までの約 1200 km に渡るルート (図 11) の中で最大の課題は、マクマード基地とロス棚氷間にある剪断ずれ地帯 (shear zone) に発達するクレバス帯の通過と南極横断山脈を乗り越えることだった。最初の年である 2002 年は、剪断ずれ地帯を通過するルート工作に成功した。2003–2004 年の 2 年次は、大型トラクターと橇によるキャラバン隊列で南極横断山脈の Leverett 氷河を越え内陸高原に至ることを試みたが、684 km 進んだところで橇が壊れ前進が不可能となった。原因は深い軟雪によって橇に大きな抵抗がかかったためであった (Lever *et al.*, 2004)。帰路の残った時間を活用して様々な実地テストを行い、橇の形状、牽引棒などの改良、牽引重量の見直しなどを行い、3 年次 (2004–2005 年) でようやく極点往復に成功した。2005–2006 年の 4 年次のシーズンは、98.9 t の物資を輸送した。これは LC130 輸送機の 11 フライト分に相当する。橇の不具合や牽引の方法などを詳しくみる



図 11 マクマード基地から南極点までのルート
Fig. 11. South Pole traverse route from McMurdo station.

ことにする。以下の内容は、南極点トラバースに関するワークショップ（South Pole Traverse Proof-of-Concept Project 2nd Oversnow Mobility Workshop 2005）で発表された資料等を基にまとめた。

表 3 2 年次（2003–2004 年）で使用した車両の重量と寸法

Table 3. *Weights and overall dimensions of second year-traverse (2003–2004) vehicles.*

トラクターと橇	重量 (t)	履帯または橇の寸法					接地圧 (kPa)
		履帯の 数	幅 (m)	長さ (m)	接地面 積 (m ²)	履帯間 距離 (m)	
Caterpillar社 D8R-LGP	39.1	2	0.97	3.2	6.18	2.34	62
Caterpillar社 Challenger95 w/Fassi (クレーン付き)	18.8	2	0.76	2.74	4.18	2.34	44
Kress社 KT95	27.2	2	0.76	2.74	4.18	2.34	64
Case社 STX450-Quadtrac	25.5	4	0.79	1.85	5.84	2.2	43
トレーラー／橇							
KTT60トレーラー	27.2	2	0.9	2.92	5.27	2.54	51
KTD40 履帯Dolly	18.2	2	0.81	1.83	2.97	2.54	60
ISO規格の20ft コンテナ橇	11.8	4	0.91	2.74	10	1.98	12
居住モジュール橇	19.5	4	0.61	2.13	5.2	2.29	37
エネルギーモジュール	20.7	4	0.61	2.13	5.2	2.29	39
冷凍庫橇	12.3	4	0.91	2.74	10	1.98	12
燃料橇	14.1	2	0.65	5.79	7.5	2.3	18



D8R LGP



Kress KT95



C-95 w/Fassi



Case STX450 Quad

図 12 南極点トラバースのトラクター（Lever *et al.*（2004）から抜粋）

Fig. 12. Tractors used for South Pole traverse (from Lever *et al.* (2004)).

4.2. 2年次（2003-2004年）の行動

4.2.1. トラクター

表3にトラバースに使用されたトラクターと橇の一覧を示す。またトラクター外観を図12に示す。

Caterpillar 社 D8R-LGP: 鉄履帯で大きな排土板を持つ。このトラバース中、最も重く牽引力も最大である。

Caterpillar 社 Challenger95 w/Fassi (クレーン付き): ゴム履帯で後部にクレーンを搭載している。

Kress 社 KT-95: Challenger95 を改造したもので、6人用キャビンを搭載し履帯トレーラーを牽引するために5本の車輪タイプのヒッチが付いている。

Case 社 STX450-Quadrac: 前後に分離した走行用ゴム履帯部が特徴である。

4.2.2. 橇とトレーラー

居住モジュール橇、エネルギーモジュール橇、ISO規格の20ftコンテナ橇: いずれも4式のスキーを持ち、その上部の前後の荷台は、スキー部とターンテーブル式回転ピンで連結されている（図13）。この機構によりトラクターの動きに合わせたスムーズな旋回が可能である。しかし、2年次行動では、この旋回機構がピンの疲労破壊の原因となった。またスキーのピッチング動作ができるように、スキーと荷台間にはゴムブッシングが付いている。**D8R-LGP** トラクターは通常、居住モジュール橇とエネルギーモジュール橇を搭載したISO規格の20ftコンテナ橇2台を牽引する。**Case** 社トラクターと **Challenger95** トラクターは、3台のISO規格の20ftコンテナ橇を牽引する。12klの燃料タンクを2本のスキー上に取り付け、燃

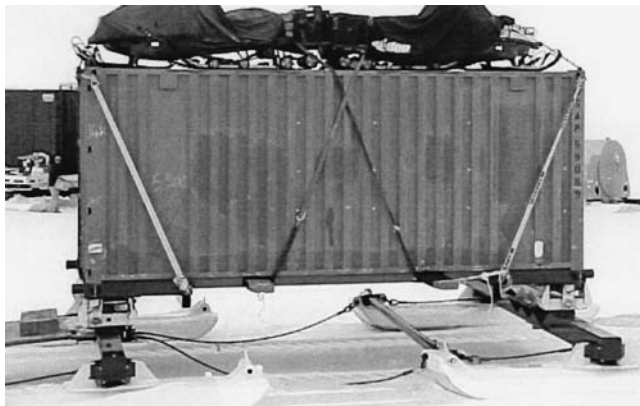


図 13 ISO コンテナー橇 (from report on the 2nd oversnow mobility workshop March 28-31, 2005, Denver, Co.)

Fig. 13. ISO container sledge. (from report on the 2nd oversnow mobility workshop March 28-31, 2005, Denver, Co)

料橇としている。燃料橇 8 台は、タンク下をはわせたメインロープに連結してある。橇は縦 1 列に配置され、すべての橇のスキー滑走面はトラクターが通過後にできる轍の中を通過する。耐久性のある超高分子ポリエチレン (Ultra high molecule weight polyethylene: UHMWPE) のシートをすべてのスキーの滑走面に貼り雪面との抵抗を減らしてある。また牽引されている最後の橇の後部には 2 本のパイプやパイプとチェーンからなるドラッグバーを取り付け、トラクターと橇の通過で乱れた雪面を整地する (図 14)。Kress 製 KTT60 トレーラーと KTD 40 履帯 Dolly には、どちらも極点基地用の 20 kl 燃料タンクを搭載した。ケスボーラー社 PB 100 型雪上車の前部には、クレバス探知レーダーを取り付けた。この雪上車が先導し、クレバス探知を行い安全を確認した後トラクターが続く。トラクターの順番が変更してもクレバス探知用雪上車はどの行動でも先導した。

4.2.3. 2 年次 (2003–2004 年) シーズンの行動と問題点 (Lever *et al.*, 2004)

2003 年 10 月にマクマード入り江のウィリアムズ滑走路周辺の海氷上でトラクターと橇の走行テストを行った。その結果 4 台のトラクターで、居住及びエネルギーモジュール橇 2 台、荷物搭載の ISO 規格の 20 ft コンテナ橇、満タン 12 kl の燃料橇 8 台、空燃料タンク搭載トレーラー 2 台を牽引可能と判断した。輸送隊は 2003 年 11 月 18 日にロス棚氷に向け出発した。しかし途中、大きな抵抗と橇の大きな動揺に見舞われた。トラブルは、トラクターが十分な牽引力が得られず走行不能になり、橇のターンテーブルピンと荷台取り付け機構が破損したためであった。それ以上の前進を断念し、12 月 30 日に引き返すことにした。帰路に Challenger95, Kress 社, Case 社トラクターの牽引力及び橇の走行抵抗試験を行った。Case 社トラクターにロードセルを介し、橇やトレーラーを連結し 8 km/h で走行した。この走行テストは、トラクターの轍の内と外で行った。その結果、軟雪地帯では、牽引車の轍の外の乱

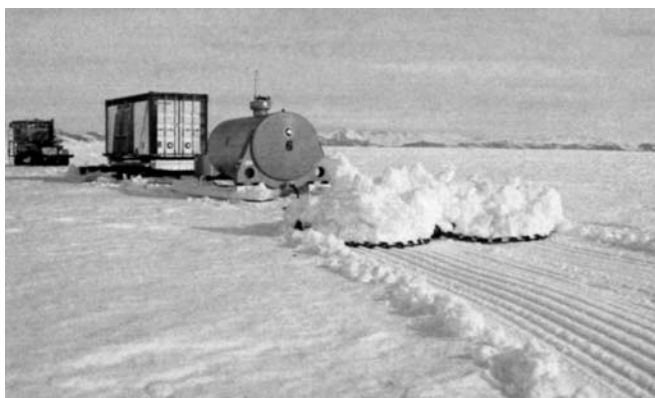


図 14 ドラッグバーやチェーンで雪面を均す (from report on the 2nd oversnow mobility workshop March 28–31, 2005, Denver, Co.)

Fig. 14. Grooming by drag pipe or chain. (from report on the 2nd oversnow mobility workshop March 28–31, 2005, Denver, Co.)

されていない所は轍の中を走行するより抵抗が少ないことがわかった。

4.3. 3年次（2004–2005年）シーズンの行動（Wright, 2005）

4.3.1. 2年次トラバースからの改善点

表4にこのシーズンに使用したトラクターと櫓の重量を示す。前年から改善した事項は以下の2点である。

- ・櫓のスキーはトラクターの轍の外側を走るように配置した。
- ・同じタイプの櫓の連結は2台までとした。

その他さらに、以下の改善を行った。

- ・ISO規格の20ftコンテナ櫓のスキー部の軌間を拡張するベンチを取り付け、2.78mから5.03mに広げた。
- ・居住及びエネルギーモジュール櫓のスキー幅を61cmから91.4cmに変更した。これによりスキーも45cm長くなった。それによって接地圧が減少した。
- ・モジュール櫓とISO規格の20ftコンテナ櫓に逆のターンテーブルピン留め具を装着した。これにより点検とピン交換が楽になった。以前はピンの交換に半日を要していたが、3年次トラバースではいろんな改善点が功を奏して不具合によるピンの交換はなかった。
- ・モジュール櫓とISO規格の20ftコンテナ櫓に先端バンパーを取り付けた。軟雪時の側方の傾きを抑えるために取り付けたもので、その結果ターンテーブルピンの破損は起きな

表4 3年次（2004–2005年）のトラクターと櫓の重量
Table 4. Weight of the third year- traverse (2004–2005) vehicles.

トラクター機種	重量 (t)	数量	総重量 (t)
Catapillar社 D8R-LGP	39.0	1	39.0
Case社	25.4	1	25.4
Catapillar社 Challenger95 w/Fassi (クレーン付)	18.8	1	18.8
Catapillar社 Challenger95	16.8	1	16.8
Kress社 95	23.3	1	23.3
クスボロー社 PB100	3.2	1	3.2
トラクター総重量			126.5t
櫓 (積み荷を含む)	重量 (t)	数量	総重量 (t)
居住モジュール櫓	21.6	1	21.6
エネルギーモジュール櫓	22.9	1	22.9
燃料タンク櫓 (オリジナル)	13.9	4	55.6
燃料タンク櫓 (改良型)	14.7	4	58.8
ISO規格の20ftコンテナ櫓 (改良型)	8.8	1	8.8
ISO規格の20ftコンテナ櫓 (milvan)	11.1	1	11.1
ISO規格の20ftコンテナ櫓 (flat rack)	11.0	1	11.0
ISO規格の20ft冷凍庫櫓	17.9	1	17.9
拡張バー・リグ	1.4	2	2.8
スノーモービルのバー	0.3	2	0.6
食料・工具・パーツ等	4.5	1	4.5
ドラッグ用パイプ		4	
櫓と積み荷の総重量			215.6t

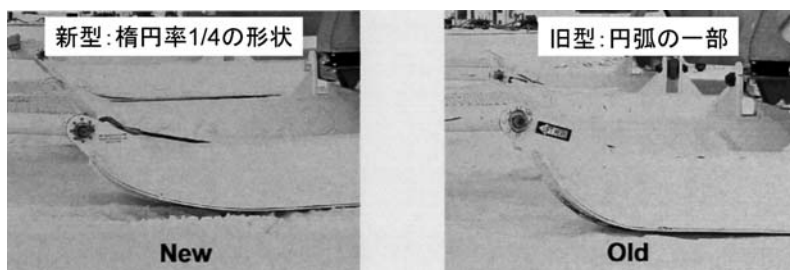


図 15 タンク橇のスキー先端の形状

Fig. 15. Fuel tank sled skis, new 1/4-elliptical nose (left), and old nose (right).

かった。また橇側方の安定性が増した。

- ・ 8 台の燃料タンク橇のうち、4 台の橇のスキーの長さを 61 cm (2 ft) 長く、幅を 30.48 cm (1 ft) 広くした。またスキー先端の曲がりを橢円率 1/4 の形状にした (図 15)。最終的なスキーの大きさは、幅 91.4 cm、長さ 640 cm、橢円率 1/4 とした。重量は各スキーにつき 454 kg 増加したにも関わらず、燃料満載の状態で接地圧が 18.6 kPa から 11.72 kPa まで減少した。トラクターの標準的な履帯幅は 76.2 cm であり、この後に 61 cm 幅の標準的な橇が通ると、トラクターの履帯でバラバラに砕けた雪の中にはまりこんで除雪しながら進むことになり抵抗が増える。新しい 91.4 cm 幅のスキーは、轍の中にはまり込むことはなかった。
- ・ 米国陸軍寒地工学研究所 (Cold Regions Research and Engineering Laboratory: CRREL) が開発した拡幅バー (spreader bar) を取り付け、タンク橇牽引を縦 1 列から横 2 列にした (図 16)。この方法によりトラクターの轍に橇のスキーがはまらないようになった。また 2 台以上の橇を縦 1 列に並べないという方針を実現できた。

4.3.2. トラバース輸送の詳細

2004 年 11 月 11 日にマクマード基地を出発し、2005 年 1 月 20 日に帰還した。71 日の行動だった。このうち実際に前進した行動日は 39 日で、それ以外はクレバス探査に 15 日、天候不良が 3 日、航空機の待機などでありトラブルによる遅れはなかった。トラクター 5 台による隊列で実施した (図 17)。

1) 人員

プロジェクトマネージャー 1、重機整備エンジニア 2、重機オペレーター 3、フルードアシスタント 1、CRREL の研究者 (雪の性状と車両の走行性の研究、通常は PB 雪上車の運転者) 1 の計 8 人。

2) 日課

0700-0730 LT 起床、洗面・朝食、エンジン起動・暖機、朝のブリーフィング、雑用、0730 LT 出発、1230 LT 停止、昼食、D8R と雪上車に給油、1330 LT 出発、1730-1830 LT 停止、キャンプ、履帯の掃除、すべての車両に給油、1830-1930 LT 夕食。

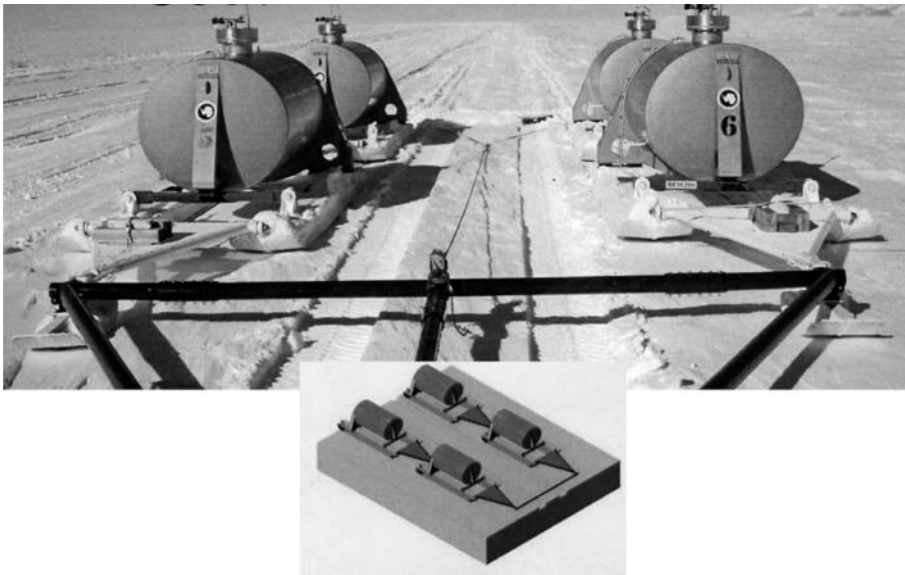


図 16 櫓のスキーが牽引車の轍を通らないようにした牽引バー (from report on the 2nd oversnow mobility workshop March 28–31, 2005, Denver, Co.)

Fig. 16. Spreader bar system for preventing overlap of ruts. (from report on the 2nd oversnow mobility workshop March 28–31, 2005, Denver, Co.)

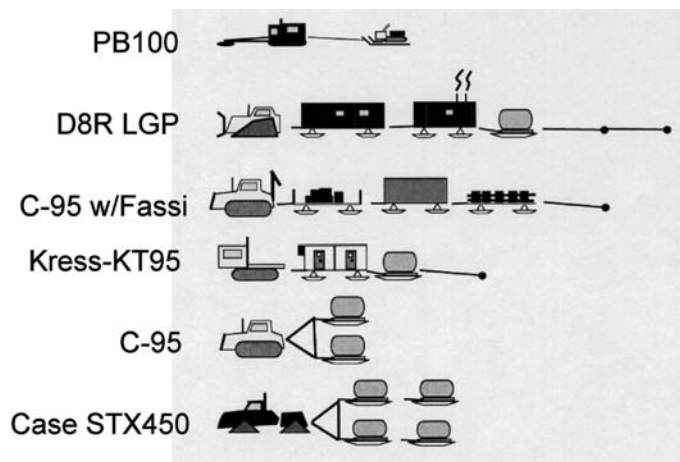


図 17 3年次（2004–2005年）極点トラバースの車両配列

Fig. 17. Year 3 (2004–2005) launch configuration.

3) 走行速度

往路の最高速度は、11.3 km/h に制限された。これはクレバス探知レーダーを積んだ雪上車の速度で規制される。既知のクレバス地帯では 4.8 km/h が基本的な走行速度である。最も

遅い車はモジュール櫓 2 台を牽引している D8R-LGP だが、8 km/h を保持することができた。運転者が快適に感じる速度は、雪面状態により左右され 12.1–13.7 km/h である。帰路には 14.5 km/h に達したが、運転者はスピードの出し過ぎと感じ櫓の修理が頭をよぎる。12.1 km/h が計画時の速度として適切な値である。

4) 燃費

すべての車両が AN-8 ディーゼル燃料を使った。これは極点基地で使用しているものと同じである。給油量はエネルギーモジュール櫓に取り付けた流量計でモニターし記録した。表 5 に示すように、帰路は往路に比べ荷物が少ないので燃費は少ないが、荷物があれば往路と同じような数値になるだろう。

5) メンテナンス

Catapillar 社トラクターの定期点検は 250 時間ごとである。しかし、Case 社トラクターは 500 時間ごとである。Case 社トラクターを除いてトラバース中に 1 回の定期点検を行ったが、トラバース前にマクマード基地での作業時間が多かった Challenger95 w/Fassi とトラバース中に 500 時間を超えた PB100 型は 2 回実施した。PB100 型の定期点検は、600 時間ごとであることが後でわかった。

6) 気象

荒天による停滞日は、全 71 日期間中、丸 1 日が 3 日、半日が 5 日だった。開けた雪面上での LC130 輸送機の着陸時の飛行規程は、雲高 1500 ft (457 m) 以下、水平視程 3 マイル (4.8 km)、横風 15 kt (7.7 m/s) 以下である。従ってこの航空機は、71 日のうち 30 日はトラバースルートに着陸できないことになる。2 年次は 66 日のうち 38 日が着陸不能だった。この値はレスキューを考えるうえで参考になる。

7) 通信

マクマード基地と 4 種類の通信方法を確保した。第一は音声によるイリジウム電話である。またデータ通信用イリジウムを 2 機購入し、デンバーにある Raytheon 社との回線を確保した。Eメールのメッセージはデンバーを介してマクマード基地とリンクした。個人の

表 5 3 年次 (2004–2005 年) の燃料消費量
Table 5. Fuel consumption on the third year-traverse (2004–2005).

機種	消費燃料 (kℓ)	運転時間(h)	燃料消費率		
			(ℓ/h)	往路(ℓ/km)	復路(ℓ/km)
Catapillar社 Challenger95	9.98	385	25.7	4.27	3.31
Catapillar社 Challenger95 w/Fassi (クレーン付)	12.2	406	29.9	5.24	4.05
Kress社 KT95	11.5	391	29.5	4.69	3.79
Case社 STX450	16.4	389	42	6.17	5.24
ケスボーラ社 PB100	4.4	509	2.3		
Catapillar社 D8R-LGP (帰路にデボ)	12.2	268	12		
エネルギーモジュール発電機	8.6	1369	6		
冷凍庫	0.45				

メール通信も可能にした。バックアップとして 20 W の HF セットを準備したが使わなかった。各車両と居住モジュール橈には 12-25 W の VHF 通信機を配備した。また運転席と地上の作業員の通信のために 6 W の VHF 通信機を使った。

8) 食料

朝食、スナック、飲料などはマクマード基地の食堂から提供を受けた。しかし昼食と夕食は、クライストチャーチの Skyway 社が提供する冷凍食を使用した。この会社はトラバース隊と協力してメニューの選定、梱包について協力してくれた。前次隊が 7 日周期だったメニューを今次隊は 13 周期にした。電子レンジで解凍できるように、波型ホイルで梱包し冷凍庫に保管した。ホイルに包んだ食料は解凍せずに直接電子レンジに入れる。

9) 走行用試験機器

- ・自動ラムゾンデ測定機: 雪面から 61cm の深さまでの硬度を測定する。
- ・牽引抵抗を 22.7 t まで測定できる過重計とデータロガーをタンク橈の牽引ヒッチ部に取り付けた。
- ・エネルギーモジュール橈の下部に沈下センサーを取り付けた。

10) 新規採用アイデア

- ・キャンプサークル: キャンプ地ではクレバス探査レーダーでクレバスがないことを確認し、図 18 に示すように、半径約 400 m の円を描き、この中で行動する。
- ・CRREL 製多目的トラバースツール: 空になったタンク橈はデポすることになるが、タンク橈の拡張牽引バーを雪面整地用ドラッグバーとして使用した (図 19)。
- ・リカバリースキーの活用: スノーモービルは通常、小型雪上車がリカバリースキーの上に



図 18 キャンプ地での安全圏サークル
Fig. 18. A 400 m-radius circle for camp safety.



図 19 拡幅棒を利用した整地
Fig. 19. Grooming using a spread bar.

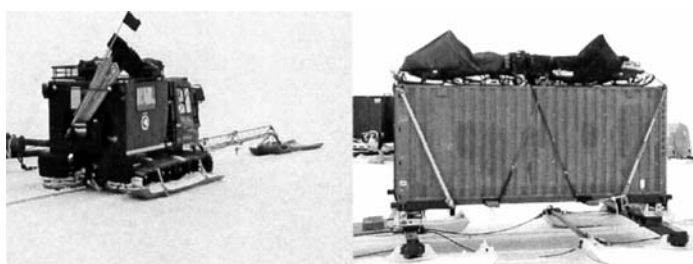


図 20 リカバリースキーの活用，燃料節約のため PB100 型雪上車をリカバリースキーに乗せ牽引（左），コンテナの上に配置したスノーモービル（右）
Fig. 20. Utilization of recovery skis. A PB100 towed backwards on recovery skis for saving fuel consumption (left), Snowmobiles lashed on a container (right).

載せて牽引するが，このリカバリースキーに小型雪上車を載せ帰路に他の車両で牽引した（図 20）。これにより帰路の燃料を節約した。

5. ドイツのトラバース輸送

以下の内容は，COMNAP（the Council of Managers of National Antarctic Programs）の設営シンポジウムでの発表（Drücker *et al.*, 2004）等を基にまとめた。

5.1. 雪上車

表 6 に示すように 2 種類の雪上車を使用している。また図 21 に PB300 型を示す。どの車にもクレーン（Partek090）が装着できる。作業半径 4 m で 1700 kg，12 m で 360 kg の荷物を吊ることができる。スキー場で使用されている雪上車に以下の仕様変更を行い，南極仕様としている。

- ・重量物牽引用フック（2 式）の取り付け

表 6 ドイツ隊が使用している雪上車の性能

Table 6. Performances of snow vehicles used by the German Antarctic Expedition.

機種	Pisten Bully 260	Pisten Bully 300
寸法	5.6 × 4.2 m	5.9 × 4.2 m
前部ブレードを含めた寸法	6.5 × 4.2 m	6.8 × 4.2 m
重量 (t)	7.2	7.5
馬力 (kW)	194	246
空車接地圧 (kPa)	5.4	5.5
最大牽引力	2台 × 20 ft コンテナ櫓	3台 × 20 ft コンテナ櫓
燃料消費量	3.5 ℓ/km	4 ℓ/km



図 21 PB300 型雪上車と 20 ft コンテナ櫓

Fig. 21. PB300 snow vehicle and 20 ft container sled.

- ・潤滑油と冷却水保温用の独立した灯油ヒーターと 220 V 電気ヒーターの取り付け
- ・油圧クレーンの取り付け
- ・安全シュルター・科学調査用キャビンの設置
- ・運転席の脱出用天井ハッチの取り付け
- ・通信、ナビゲーション用機器の取り付け
- ・寒冷地用作動油（CEC-L-33-A-93）への交換
- ・油圧ホースの取り付け

雪上車の運転及び整備のため、担当の越冬隊員はメーカーで 1 週間の訓練を行う。

5.2. 櫓

ISO 規格の 20 ft コンテナ用櫓（図 22）を使用している。40 ft コンテナは使用していない。冷凍コンテナは食糧では +5°C--20°C、氷床コアは -25°C で運用する。22 m³ のタンクコンテナは燃料と掘削用液封液に使う。居住・調理・通信用キャラバンコンテナも使用する。また建築材料などは、20 ft サイズのプラットホームの上に載せて運ぶ。実験室用コンテナもあ

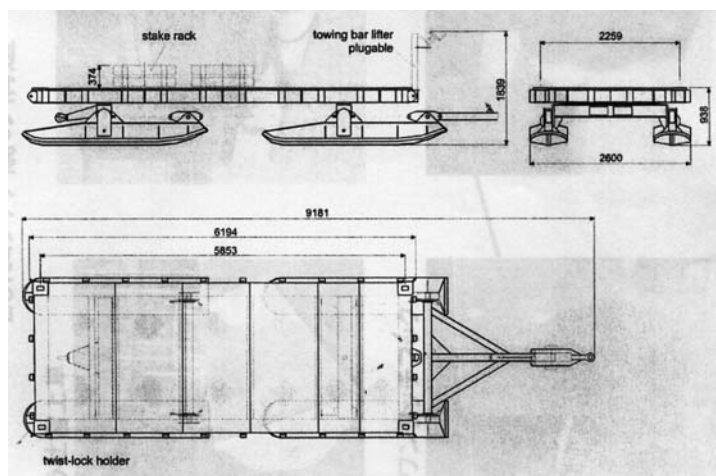


図 22 Lehmann 社の 20 ft コンテナ橇, 重量 3.1-3.7t, 搭載貨物 10-25 t
 Fig. 22. 20 ft container sledge (Lehmann). weight: 3.1-3.7t, payload 10-25 t

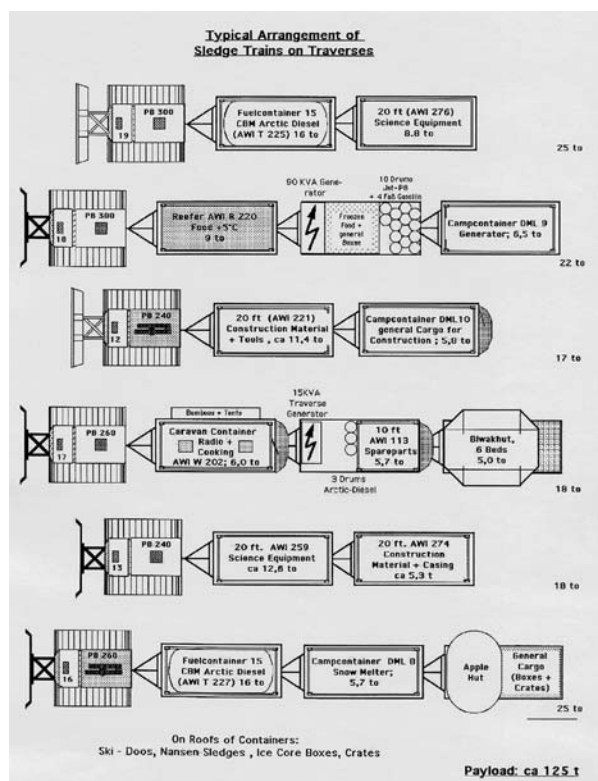


図 23 ドイツ隊のトラバースの編成
 Fig. 23. Configuration of German traverse.

る。橇のメーカーは、Lehmann Maschinenbau GmbH（ドイツ）である。コンテナは、4 個のツイストロックで橇に固定される。200l ドラム缶が 48 本搭載できる。

5.3. 輸送形態

ノイマイヤー基地から南に 750 km のコーネン基地（標高 2900 m）まで 1 シーズンに 2 往復し、年間 150–200 t の物資を輸送する。往路の 1 日の走行距離は約 80 km、帰路は 130 km である。図 23 は、雪上車と橇のキャラバン構成である。一冬経過した古いトレース上を走行すると、10% 速度が増し燃料も削減できる。橇の滑走面には、超高分子ポリエチレンを貼り摩擦抵抗を軽減する。さらに、白色に塗装し駐車中に太陽光を吸収し凍結するのを防止する。燃料タンクコンテナの容積は 14.5 m³ で、ポンプ、フィルター、流量計付きで、20 m のホース端末には安全バルブが付いている。ポンプの電源は、雪上車の DC24 V か、発電機の 220 V を使用する。給油は 4 時間ごとに 1 日 3 回行い、所要時間は 30 分である。その後、30 分間は休息で簡単な食事を取る。帰路には不必要な雪上車を空橇に載せて基地に戻る。そうすることで運転者及び燃料を節約できる。トラバース隊は、合計 3500 kg のスペア部品、工具などを携行している。ターボ付きエンジンの出力減少は、標高 1000 m 以上で 0.2%/100 m であるのに対し、ターボなしでは、1.0%/100 m である。

6. フランス隊

以下の内容は、COMNAP の設営シンポジウムでの発表（Godon and Cucinotta, 2004）等を基にまとめた。

沿岸から約 1100 km のドーム C にあるコンコルド基地建設のため、1 シーズンで 400 t、総量で 4000 t の物資輸送が必要だった。このために 1 台当たり 25–30 t を牽引した 8–10 台のトラクターで 1 シーズンに複数回のトラバースを実施した。一般的なトラバースは、9 ないし 10 人が、7 台のトラクターと 2 台の整地用雪上車を使って実施する。

6.1. 車両

牽引車として市販機で候補にあがったのは、土木用トラクター、農業用トラクター、ゲレンデ用雪上車であった。被牽引車両としては、橇、クローラータイプのトレーラーである。Caterpillar 社の土木用トラクター D シリーズは、高価でスピードが遅いので選定対象から除外した。農業用トラクターは、柔らかい土壌上においてゴムベルト駆動で各種作業機を牽引する用途である。ケスボーラー社 PB 雪上車はブレードで作業する目的であり、幅広の履帯であるため接地圧は低い牽引車両ではない。

6.1.1. Caterpillar 社 Challenger65X シリーズ

このシリーズは、本来、農業用トラクターである。接地圧が 30 kPa、出力 215–240 kW、油圧

クラッチ，ダイレクトドライブトランスミッション（半オートマチックギアボックス），重量 15500 kg，最高速度は 30 km/h，牽引時の巡航速度 7-18 km/h である．ただし焼結していない乾いた雪では，牽引力が低下する．構造が単純なのでメンテナンスも楽である．この機械はブレードなしであり，ブレードを取り付ける改良を試みたが，視認性の問題で成功しなかった．最大荷重牽引時でサスツルギなどの雪面ではスタックするが，タンデムでの連結や荷物の再配分で切り抜けた．単車での燃費は 2 l/km である（図 24）．

6.1.2. ケスボーラー社 PB シリーズ

PB330 型や PB300 型シリーズはスキー場用の雪上車で，出力 240 kW と強力で多量の雪を押すことができる．また重量が 9000 kg と軽いので登坂力がある．接地圧は 8 kPa と低い．ト



図 24 フランス隊の Caterpillar Challenger 65x series

Fig. 24. Caterpillar Challenger 65x series by French party.



図 25 コンコルド基地までのルート整備をする PB 雪上車

(<http://www.gdargaud.net/Antarctica/Traverse.html> より抜粋)

Fig. 25. Grooming operation by PB snow vehicle of the route to Concordia Station.
(from <http://www.gdargaud.net/Antarctica/Traverse.html>)

ランスミッションは油圧ポンプとモーターで行い電気制御である。最高速度は、単車で 17 km/h である。しかし接地圧が低いため、乾いた雪では牽引力はあまりない。南極における主整備間隔は 1500 時間である。この雪上車による重量物の牽引は、油圧ランスミッションを故障させる。荷物を積んでの燃費は 6l/km である。油圧ランスミッションなので単車でも 4l/km である。Challenger は牽引に、PB は先頭車としてルートの整地（図 25）など補助的な用途として使用した。

6.2. 橇

Otaco 社と Aalener 社の連結橇を使ったが、重すぎて壊れやすかったので独自に 12 t 積載橇を作った。これにはデッキタイプとコンテナ搭載タイプがある。12 m³ の燃料タンク橇（図 26）は、前後のスキーをゴムで連結したものである。このモデルは、トラバース用燃料橇として使用している。26 m³ のタンク橇は、基地への燃料輸送用として使用する。14 m³ のタンク橇（図 27）は、最初のモデルの改良版で荷物橇の部品と共通性がある。これらのタンク橇

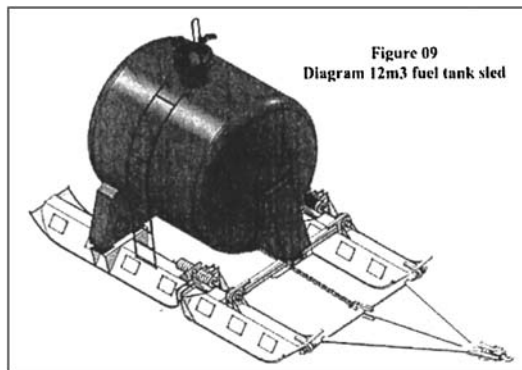


図 26 フランス隊の 12kl 燃料タンク橇
Fig. 26. 12 kl fuel tank sledge of French party.

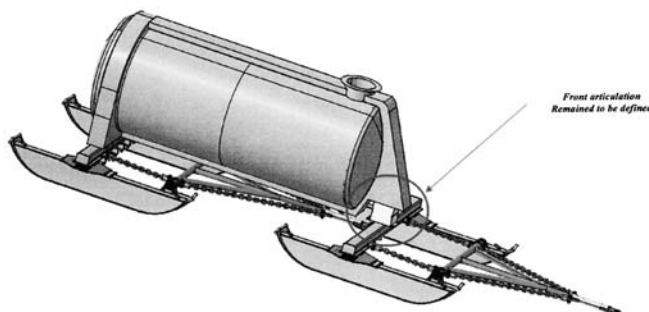


図 27 フランス隊の 14kl 燃料タンク橇
Fig. 27. 14 kl fuel tank sledge of French party.

は、総重量と NET 重量の比率も良く旅行中にトラブルはなかった。

6.3. クローラータイプトレーラー

牽引抵抗は少なく低接地圧を実現できる(図 28)。ゴム履帯のトレーラーは、凹凸の激しい地形では橇よりも運動抵抗が少なく機械的信頼性も高い。橇とこのトレーラーについて試験を行った結果、相捕の関係があることが分かった。ゴム履帯は、 -35°C までは柔軟性があったが、温度降下とともに硬化した。



図 28 フランス隊のゴムクローラートレーラー
Fig. 28. Rubber crawler trailer of French party.

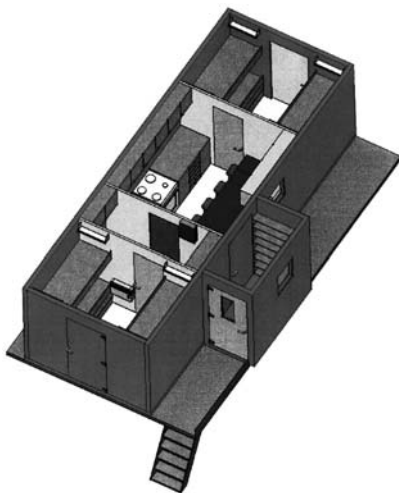


図 29 フランス隊の居住モジュール
Fig. 29. Living module of French party.

6.4. 居住施設

トラバース隊の行動時間は、1日15-16時間である。このため隊員には快適な居住空間が要求される。居住モジュール櫓は、4人部屋2室と台所・食堂、通信室・医務室、前室からなっている（図29）。

6.5. エネルギーモジュール櫓

発電機セット、造水装置・配水システム、工作室、浴室、医薬品用温室からなる（図30）。65kW 発電機は、2つのコンテナモジュール櫓に電源を供給するとともに、キャンプ時のトラクターのエンジンのヒーター用電源にもなっている。このモジュール櫓の外部には燃料ポンプユニットがあり、トラクターに約4m³/日の燃料補給を行う。このユニットにはフィルターと流量計が付いている。これらの櫓のパネルは、金属の補強材が埋め込まれていて厚さは100mmである。パネルは堅いシャーシの上に設置されている。

倉庫櫓は、食糧庫と部品庫の2室に分かれている。1カ月のトラバースで飲料を含む食糧は、9-10人の隊で約1200kg、2m³である。

6.6. 通信

各々のトラクターと居住モジュール櫓には、VHF トランシーバーがあり、トラバース隊や20km 圏内の通信に使われる。長距離用としては4つの方法がある。

・公用・私用のEメール送信及び位置の送信には、イリジウムシステムが使われる。電話と

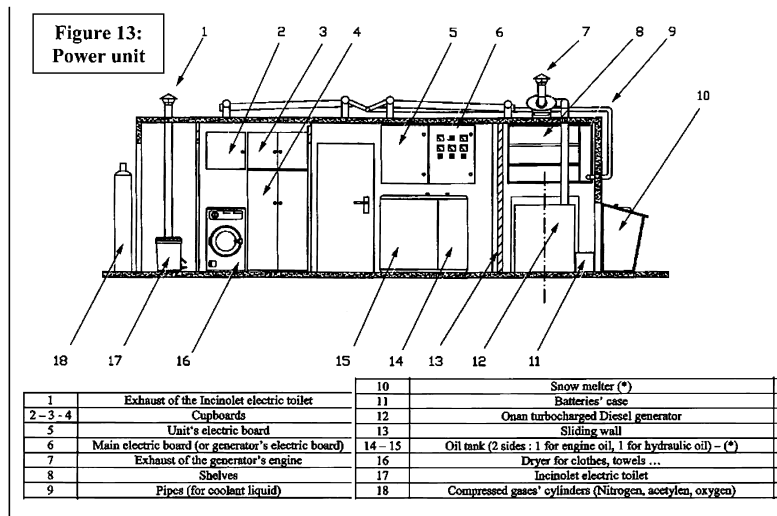


図 30 エネルギーモジュール

Fig. 30. Energy module.

しても使う。

- ・インマルサット **C** はイリジウムより以前に導入されたが、現在はイリジウムのバックアップとなっている。
- ・インマルサット **M** はイリジウムの代替としてファックスと電話で使われる。
- ・従来の **HF** 通信は衛星通信のバックアップだが、**VHF** が届かない位置 (20 km 以上) から基地との音声での通信に通常使用している。この装置は 3 台あり、居住モジュール櫓と 2 台のトラクターに設置している。

6.7. ナビゲーション

先頭車には **GPS** を始めいくつかの電子機器がありルートを確認しながら進む。6–12 kW の投光器 (図 31) の電源は、220/380 V, 50 Hz の発電機かケースボーラーの場合は、油圧回路から供給を受ける。これらの投光器は太陽光よりも輝度があり、ホワイトアウト時でも雪面が見える。トレースの風下には吹きだまりによる壁ができるので、前回のトレースをたどるには、これらの目印で 1–2 年は充分である。第 2 番目に走行する車両には、レーダーが付いているが、安全が目的でありナビゲーションが目的ではない。

6.8. 出発地

デュモン・デュルビル基地から海を隔てて 5 km 離れた Prudhomme 岬が出発点になる。ここには、居住棟、発電棟、3 つの作業棟、200 m² の倉庫、300 m³ の燃料プラント、地下には 500 m² のガレージがある。荷積みは、3 台のトラクターの後ろにそれぞれ設置した 15 t のガント



図 31 投光器をつけたトラクター

(<http://www.gdargaud.net/Antarctica/Traverse.html> より抜粋)

Fig. 31. A tractor with projectors.

(from <http://www.gdargaud.net/Antarctica/Traverse.html>)

リークレーンとクレーンとしても使える 10t の除雪機を使う。船からの荷下ろしは夏期には 50t のバージ船でジュモン・ジュリュビル基地まで運び、大陸への陸揚げは冬期に行う。

6.9. 廃棄物処理

持ち帰り廃棄物、電気ヒーターで処理する大便、雑排水の 3 種類に分類できる。このうち、雑排水だけを屋外に排出する。10 人の旅行隊なら 1 日約 300l である。

6.10. ルートの整地

雪面を平坦に堅くするため、堅い雪とトラバース隊が通過した後の柔らかい雪を混ぜる。このオペレーションは、年に 1 回最初の旅行の帰路に行う。Challenger の後部にすきを付けて行う (図 32)。

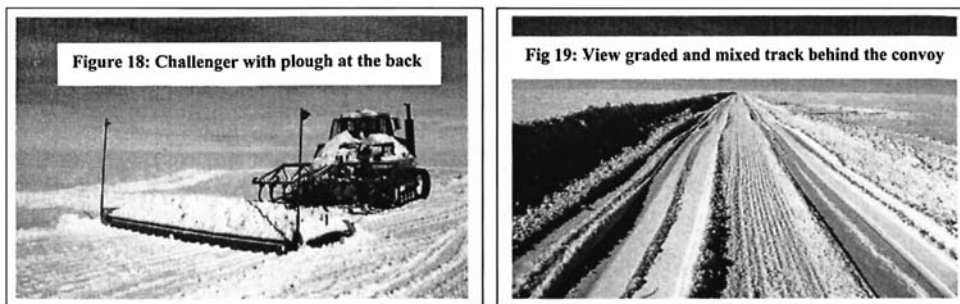


図 32 ルートの整地、除雪機を牽引したトラクター (左)、整地後の橇のトレース (右)
Fig. 32. Grooming of route, Tractor with a plow (left), trace after sledges' passing (right)

7. 将来の内陸トラバース輸送

アムンセン・スコット南極点基地までのすべての物資輸送を航空機だけで行ってきた米国がマクマード基地からトラクターによる輸送を試行したことは驚きである。航空機による輸送には膨大がコストがかかることの証である。各国の内陸輸送方法から、日本が今後の内陸トラバース輸送に関して学ぶことは多岐に渡る。以下にまとめてみる。

7.1. 雪上車と牽引トラクター

大規模な輸送を行っている米国とフランスは、橇の牽引にはトラクターを使用している。それに対し、日本とドイツは、雪上車だけを使用している。トラクターの利点は、価格が安いにも関わらず大きな牽引力が得られることである。しかも走行速度が大きい。米国の 3 年次トラバースで最も遅い車両でも 8 km/h を保持しており、トラバース計画時の速度を 12 km/h に設定している。これに比べて日本の SM100 型は牽引力はそれほど劣らないが、往路

のスピードは約 6 km/h 程で全く遅い。これだけの速度を維持しても燃料消費量はそれほど変わらない(表 5)。車両速度は軟雪地帯での牽引抵抗にも大きく影響し、速度を上げて通過すれば抵抗は少ない (Lever *et al.*, 2004)。従来の雪上車とトラクターの使い方を吟味すべきである。またトラバース中には、ブリザードで停滞することもしばしばである。この時には橇などが積雪で埋没し、ブレードによる除雪が欠かせない。ブレードやクレーンなどの作業機を搭載した雪上車が要求される。多目的機能を有した雪上車と、大型牽引トラクターの組み合わせが最適な編成のように考えられる。現在南極用の大型のトラクター(図 33)が市場には出てきたが、新船「しらせ」のクレーン能力は 15t である。分解して持ち込み、現地での組み立てを条件にする必要がある。

7.2. 橇

雪上車がスピードを上げられないのは、雪上車の性能だけではなく橇によるところが大きいと考えられる。橇の衝撃が激しいと、速度を上げることができない。激しい凹凸による衝撃を避けるためには、橇のピッチングを軽減する揺動装置(スキーの中心にピンを設け、この軸を中心にスキーがフリーになり凹凸を乗り越える装置)が重要になる。日本隊はまず第一に、軽量で振動の少ない橇を開発すべきである。かつてオーストラリア製の 20 t 積み橇(図 34)を購入し運用した。この橇上部には断熱パネルで居室を作りドームふじ基地まで輸送したが、振動が少なく問題はなかった。しかし橇の重量が 7 t もあり重すぎる。第 51 次隊から始まる新船「しらせ」の氷上輸送のために、12 ft コンテナ橇(図 35)を開発した。それ



図 33 大型トラクター

Fig. 33. A big tractor.

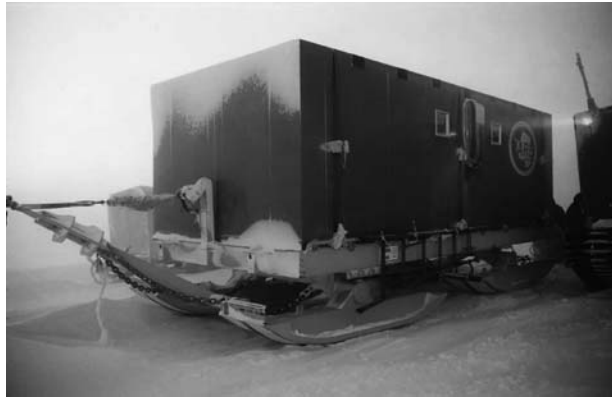


図 34 オーストラリア製 20t 櫓 (自重 7t)
Fig. 34. Australian 20t sledge (sledge weight: 7t)



図 35 12ft コンテナ用櫓
Fig. 35. A 12ft container sledge.

を大型化してトラバース用櫓に改良することは難しいことではない。表 2 に仕様を示した。

7.3. 櫓の編成

軟雪地帯では轍の走行抵抗が大きいことは、米国隊の実験から明白である。日本隊は小型櫓を使用しているため、7-9 台もの櫓を縦 1 列に連結し走行している。櫓を大型化し、2-3 台の連結にとどめる。また横 2 列の編成も考慮すべきである。櫓の種類としては、居住モジュール櫓、エネルギーモジュール櫓、機械部品・食料庫櫓、燃料櫓、雑品コンテナ櫓、オープンデッキ櫓がある。櫓のスキー本体は同じもので良い。

居住モジュール櫓: 就寝, 食事, 通信, 打ち合わせテーブル, 観測データの整理などの機能を持ったもので軽量断熱パネルで構成する。

エネルギーモジュール櫓: 居住モジュール櫓の暖房, 造水, キャンプ時の車両の保温ヒーター, 各種工具への電源供給などを満たす容量のディーゼル発電機を搭載する。出力電力は,

太陽光、風車、蓄電池とのハイブリッドで構成する。また、トイレ、簡易シャワー、造水機も装備する。

機械部品・食料庫橇: 断熱パネルの 12 ft リーファーコンテナなどが適切な大きさだろう。

燃料橇: 燃料タンク橇かドラム缶か燃料容器が意見の分かれる所である。日本隊はこれまでドラム缶だけを使用してきたが、ドラム缶容器が高価であること、使用後の空ドラム処理が面倒であることなどから、再使用可能な燃料容器が考えられる。300 ガロン容器（ドラム缶 5 本分）などを使用すればドラム缶のような無駄はなくなる。燃料タンク橇は、空になった帰路には全くのお荷物となるのが問題である。

雑品コンテナ橇: 装備品や観測機を輸送するためのコンテナ橇である。また廃棄物を入れたフレキシブルコンテナ用の橇も必要となる。

オープンデッキ橇: 建設資材などを積み込むための荷台だけの橇である。

7.4. キャンプ態勢

日本の SM100 型は後部にキャビンを設け、この中で調理や就寝を行っているが、手狭である。それに比べ外国隊はキャンプ地に到着すると、エネルギーモジュール橇内に設置した発

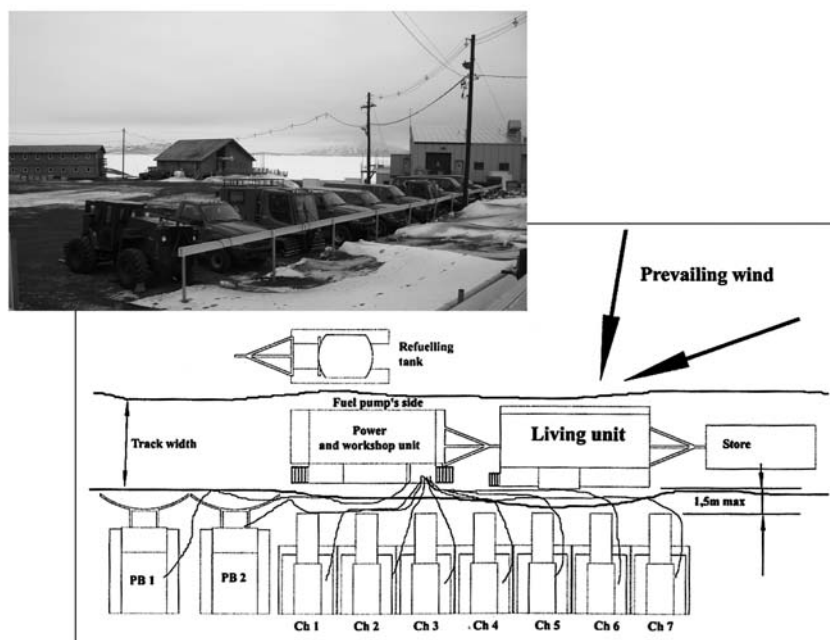


図 36 (a) マクマード基地での保温用電源と駐車場 (上), (b) フランス隊のキャンプ地での車両の保温 (下)

Fig. 36. (a) Cars heated at car park, McMurdo Station (top), (b) Snow vehicles heated at camp site by French party (below).

電機を立ち上げ居住モジュール櫓を暖房するとともに、トラクターや雪上車などのオイルパンに電源を供給し保温する（図 36）。この方法は各国でも多くのところで使われており日本隊も活用すべきである。日本隊では就寝するまでエンジンを停めないで、エンジンが発生する電気と熱を使っている。長時間のアイドル運転を余儀なくされるため、エンジンへの負担がこれまで懸念されてきた。居住・エネルギーモジュール櫓を使用すれば、この問題も解決できる。また食事にも改善の余地がある。日本隊は、越冬中に旅行食を作り冷凍パッキングし、解凍・調理を行う。米国では、旅客航空機用のケータリング会社と提携し、冷凍品のパッケージを多数持ち込み解凍することなく電子レンジで短時間に調理する。メニューも 10 日間ごとに変わる。この方式は取り入れるべきであろう。電子レンジを使うにはそれ相応の発電機を稼働する必要がある。

7.5. 廃棄物処理

内陸トラバース輸送中で問題なのは、トイレの処理である。日本隊は隊員各自が 20l のペール缶に便座を取り付けたトイレを携行し、ある程度の量になったら、まとめて雪中に埋めるようにしている。しかし、現地で処理する方式にすべきである。フランス隊は電気焼却式トイレを使っているが容量が小さく時間がかかる。簡易焼却炉などの開発が待たれる。

7.6. 自然エネルギーの利用

トラバース旅行のほとんどは南極の夏期に行われる。この時期は太陽はほとんど沈まないため、豊富な太陽エネルギーを利用すべきである。特に内陸部は日射量が沿岸地帯に比べ格段に多い。図 37 は、南極大陸の日射量を示したものである。居住モジュール櫓、エネルギーモジュール櫓、機械・食料庫櫓のパネルの全面に太陽光パネルを組み込んで、低温にも強い蓄電池などに充電しておく。この電池には大容量キャパシターなどが向いている。また小型の風力発電機などの利用も検討する。

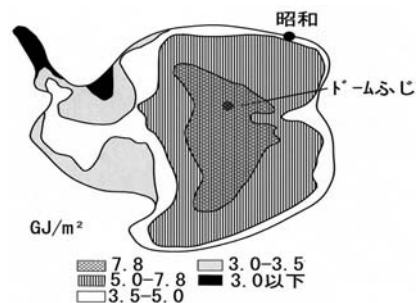


図 37 南極大陸の年間日射量
Fig. 37. Annual amount of radiation in the Antarctic.

8. おわりに

外国隊の内陸トランスポート輸送の現状を調査してみて気付くのは、工学的な見地に立った研究態勢が整っていることである。特に米国は、NSF の USAP (United State Antarctic Program) の要求に対し、Raytheon 社の南極設営支援部門が全米から使用できそうなトラクターや橇を選定し様々な現地試験を行う。これらの試験には陸軍の寒地工学研究所である CRREL が基礎的な雪氷工学データの提供や工学的助言を行う。さらに重要なのは、現地での様々な不具合や失敗を重ねながらもそれを克服し改善していく姿勢である。フランスの設営陣営は、人数的には日本と大差がなく貧弱であるが、橇などは独自で図面を書いて設計し現地で試験を繰り返し改良していく。実験や試験を繰り返しながら徐々に完成品を作り上げる方法は、工学分野においては常套手段である。しかし日本の南極観測、特に設営分野にそのような発想はない。新しいものを持ち込んで不具合が起きると、その責任の所在が一番先に問われる。新しいものを失敗をしながら徐々に作り上げるという考えに乏しい。これでは優れた物ではない。最近、日本でも失敗学なる考え(畑村, 2002)が見直されてきたが、失敗の責任を追究するよりも、失敗をポジティブに考えその原因を探究し、それを乗り越え目的を達成することにエネルギーを注ぐべきである。第一次越冬隊長であった西堀栄三郎氏が南極観測で強調していた「探検的精神」(西堀, 1991)はいつの時代でも必要とされる。

文 献

- Blaisdell, G.L., Richmond, P.W., Kaiser, F.C. and Alger, R.G. (1997): Development of a modern heavy-haul traverse for Antarctica. Proc. Int. Offshore Polar Eng. Conf., 2, 529-536.
- Drücker, C., Gernandt, H. and El Naggar, S. (2004): Surface Transport Logistics of the AWI in Antarctica. Proc. XI SCALOP Symp., Alfred-Wegener-Stiftung. Berlin, 76-84.
- Godon, P. and Cucinotta, A. (2004): Traverses in Antarctica. Information from the surface transport system. Set up for servicing the Dome C site. Proc. XI SCALOP Symp., Alfred-Wegener-Stiftung. Berlin, 98-134.
- 畑村洋太郎 (2002): 失敗学の法則. 東京, 文藝春秋, 258p.
- 堀内浩太郎 (1987): あるポートデザイナーの軌跡. 東京, 舵社, 296p.
- 細谷昌之 (2001): 日本の雪上車の歩み. 東京, 国立極地研究所, 194p (極地選書 1).
- 国立極地研究所 (1977): 日本南極地域観測隊第 17 次隊報告 (1975-1977). 東京, 198p.
- 国立極地研究所 (1987): 日本南極地域観測隊第 27 次隊報告 (1985-1987). 東京, 473p.
- 国立極地研究所 (1993): 日本南極地域観測隊第 33 次隊報告 (1991-1993). 東京, 427p.
- 国立極地研究所 (1994): 日本南極地域観測隊第 34 次隊報告 (1992-1994). 東京, 445p.
- Lever, J.H., Weale, J.C., Alger, R.G. and Blaisdell, G.L. (2004): Mobility of cargo trains during year two of the Proof-of-Concept South Pole Traverse. CRREL technical report, 04-22, 47p.
- Murayama, M. (1971): Report of the Japanese Traverse Syowa-South Pole 1968-1969. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 2, 279p.
- 西堀栄三郎 (1991): 西堀栄三郎選集第二巻. 東京, 悠々社, 407p.
- 渡邊興亜・上田 豊・藤井理行・横山宏太郎・高橋修平・庄子 仁・古川晶雄 (2002): 南極の水を掘る! 東京, 国立極地研究所, 248p (極地選書 2).
- Wright, J.H. (2005): South Pole Traverse Proof-of-Concept Project, Crossing the Ross Ice Shelf-Part2 and Ascending the Leverett Glacier 2004-2005. NSF, Virginia.