

南極雪上車について

細谷昌之*

Antarctic Snow Vehicle

Masayuki HOSOYA*

Abstract: This paper describes the characteristics of the antarctic snow vehicle, domestic market of the snow vehicle, changes and the present situation of the snow vehicle after the establishment of the antarctic station and some problems of the antarctic snow vehicle. Japanese Antarctic Research Expedition is presently equipped with three types of snow vehicle, SM50S, SM40S and SM20S. These snow vehicles are used in the inland trips and sea ice exploring, in transportation of cargo to inland station, as well as to Syowa Station and its outskirts.

要旨: この報告は、日本南極地域観測隊が行う内陸の調査旅行および海氷上の調査旅行、ならびに昭和基地または昭和基地周辺において貨物の輸送などに使う雪上車（南極雪上車）について、具備しなければならない特性、国内の雪上車市場との関係、南極地域観測が始まってから現在までの変遷と現状、および南極雪上車が避けられない問題などの概要を述べたものである。

1. 雪上車の条件

雪上車が具備しなければならない一般的な特性および南極で使用するために必要な特性は次のとおりである。

1.1. 一般的特性

1.1.1. 低接地圧

雪上車は高浮力を得ることによって雪の中に履帯が沈降するのを防ぎ、積雪の圧雪抵抗を減少させるとともに、雪上車のけん引力を支配する履帯と積雪の粘着力を高めるため、軽量化と履帯接地面積の増大を図っているが、構成装置各部の強度バランス、履帯面積増大に伴う強度の保持および旋回性能のバランスなどを考慮しなければならない。このため雪上車の使用目的や使用場所などの要求によっては、軽量化や履帯面積増加に限界が生じてくる。図1は最近の雪上車の車両重量に対する接地圧を図示したもので、これを大別すると民需用と軍需用の二つのグループに分割できる。すなわち、民需用が新雪専用であることに對し、軍需用ははん用型が多く、一般に貨物運搬に適し、積雪地以外の湿地、泥ねい地での使用や、浮航性を付与するため水密型にしたりするためである。

* 防衛庁技術研究本部. Technical Research and Development Institute, Japan Defence Agency, 2-24, Ikejiri 1-chome, Setagaya-ku, Tokyo 154.

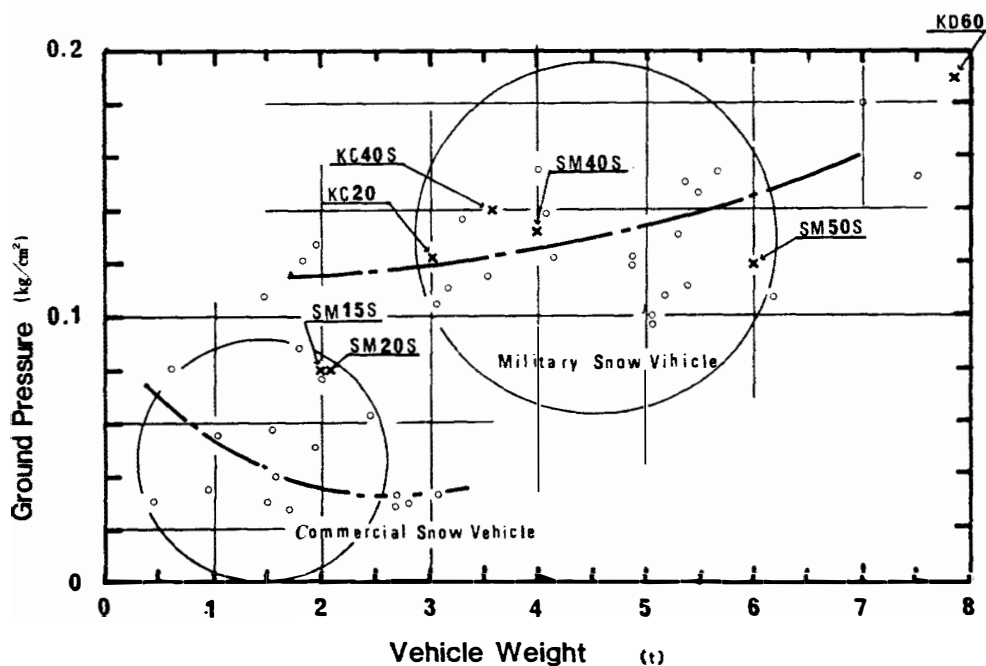


図 1 雪上車の接地圧

Fig. 1. Ground pressure of the snow vehicle.

南極雪上車の使用上の要求性能は積載性、けん引性が過大であるほか、低温、低圧および雪状に耐える厳しいものがあるため、必然的に接地圧が増加の傾向となり、図 1 の軍需用レベルの上限に近くなってくるが、可能な限り低接地圧化を図ることが望ましく、おおむね 3-5t の雪上車では、 $0.12-0.14 \text{ kg/cm}^2$ を限界と考える必要がある。

1. 1. 2. 余裕馬力

雪上車は自然が作り出す不確定要素の多い広範囲な雪状、雪質に対応し、性能を発揮することが要求される。この対策として十分に余裕のある出力を有する機関を搭載することとなる。雪上車に付与する最高速度、加速性能などの特性によっても異なるが、一般的に車両重量当たりの機関出力比は、常用速度が 25 km/h 程度で 30 PS/t が必要とされ、性能向上に伴い重量当たり出力比は毎年増加する傾向にある。

1. 1. 3. 転輪荷重と配置

履帯接地部が効率よく仕事をするためには、履帯の接地面に均一に適正な荷重が加わるように転輪を配列する必要がある。均一に負荷するためには転輪間隔が無限に小さいことが望ましいが、構造上困難な問題が多い。一般には上部転輪のない大転輪方式のものでは、転輪荷重 700 kg 以下、転輪間隔 750 mm 以下が適当である。なお、均一に荷重が加わるようにする目的のために、走行時における履帯前面が受ける接雪抵抗による前方履帯の浮き上がり、またはけん引荷重による車両前面の浮き上がりを考慮して、重心位置は接地中心から約 10 cm 前方へ移動させた方が良い結果が得られる。

1.1.4. 接地長とトレッド比

雪上車は接地圧を軽減する手段として、履帯接地長を長くする傾向にあるが、旋回抵抗を少なくして旋回を容易にするためには、接地長/トレッドを1.5以下にすることが望ましい。

1.1.5. 雪の吹き込み

雪上車は低温時に積雪上を走行するため、外囲環境と内部発熱によって駆動、転動部分に吹き込んだ雪が圧雪効果で凍結する。この対策としてポケット状の構造をさけるか、やむを得ないときはかき出す機能を付与することが必要である。

1.2. 南極固有の特性

1.2.1. 低温対策

国内仕様の雪上車は、 $-30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ を基準にしている。南極で使用するためには構造用材料の低温特性、機関の燃焼効率および低温始動性、燃料油脂類の低温性能、車室の保温暖房などの対策を講じる必要があるが、主な使用地域および季節によって温度が異なるため、すべての雪上車に同じ低温対策を施すのは得策ではなく $-60\text{--}35^{\circ}\text{C}$ を3段階に分割して対策をたてることが望ましい。

1.2.2. 高地対策

国内仕様の雪上車では考慮されない分野で、南極で使用するためには使用地域の気圧および外気温度を予想して、機関に過給、燃料流量制御、燃料噴射タイミング調整などの対策を行い、平地から高地にわたりほぼ同じ機関性能が得られるように配慮する。

1.2.3. けん引対策

内陸調査旅行または内陸基地への物資輸送を容易に行うために、雪上車がけん引するそりの動摩擦抵抗および静摩擦抵抗とそりの圧雪抵抗に打ち勝つ雪上車の駆動力とけん引力が必要である。このためには、履板の接地形状を含む履帯の防滑および車両重量の適正化の検討、そりのけん引に対応する車体およびけん引具の強度が要求される。

1.2.4. その他

雪上車の取り扱い整備性は、国内仕様でも十分に検討されているが、南極のような極低温、強風下では、さらに十分な対策を施す必要がある。また、観測隊員が容易に取り扱いのできる構造とすることも重要な要素である。

2. 市場動向と南極雪上車

2.1. 南極雪上車

年間に2-3台の雪上車を製造し、昭和基地に補給している日本の南極地域観測事業では、南極専用の雪上車を取得するには製造単価が過小で、費用対効果の面から非常に高価なものとなる上、新規に研究開発しても信頼性を得ることが難しいため、南極での使用条件、環境

条件などを勘案し、既存の民需用雪上車または防衛庁向け雪上車を母体に、そのエレメントを利用して必要な対策を施すほうが、信頼性の高い雪上車を安価に入手できる早道で、南極地域観測事業開始当初からこの方法が採用されてきた。したがって、南極雪上車は、国内市場動向に支配されてもやむを得ない状況にある。

国内の雪上車市場は、需用が少なく、その中でも人員・貨物輸送、偵察、連絡、救急などに使用できるはん用型となると、現状では民需用の SM20, SM30 の二機種、防衛庁向けの SM50 一機種しかなく、この範囲から母体となる機種を選択せざるを得ないため、観測隊の要望を十分に反映させることが困難でもある。

2.2. 雪上車の動向

積雪地の除雪能力の充実に伴い、人員・貨物などの輸送には効率の良い普通自動車が用いられるようになり、雪上車はゲレンデ整備などのレジャー施設の整備、送電線の保守管理などのように新雪を対象とした使用に変わってきた。この変化に伴い1960年初め頃から新しい技術による雪上車が出現し始め、1965-1970年には、国内における生産業界の改変と技術革新によった雪上車で市場が変革した。

新雪専用の雪上車は、軽量化と低接地圧化によって、雪上に浮上する能力が強く要求されたことに伴い、変動の大きい圧雪抵抗に対抗する機関出力の増大、ゴムバンド接続履帯、大型空気入りタイヤおよび軽量車台などの採用によって走行装置および駆動装置の転動・衝撃抵抗の減少、低接地圧化を図り、さらに部品点数の減少によって取り扱い整備性の向上が行われた。このような技術改革は、間接的には製造工数の低減に寄与し、価格の高騰を防止することにもなった。

3. 南極雪上車の展望

3.1. 南極雪上車の変遷と現状

南極雪上車は表1に示すように、1956年に南極観測を始めるに際し、物資輸送、観測旅行に使用するため、南極用に小改造した民需用 KC20 型雪上車（一時期ディーゼルエンジン搭載の KD20 型を用いたこともある）を昭和基地に持ち込んだのが最初で、この KC20 型雪上車は、以後1974年まで年間2-3台ずつ補給し、前述の使用目的を達成したほか、基地周辺の雑用にも活躍したが、国内市場需要と技術革新の影響を受けて母体の雪上車が生産中止となったため、この雪上車の後継車として防衛庁用の KC40 型雪上車に最小限の対策を施し、1975年からはん用車として使用した。しかし、この KC40 型雪上車も防衛庁が装備の更新を図ったことが原因で生産中止となったため、1980年から補充できなくなった。このクラスの雪上車は、はん用車として非常に便利であり、基地周辺の雑用、野外調査のサポートを初め小旅行にもしばしば用いられ、今後も需要が多いため後継車として後述する SM50 型雪上

表1 南極雪上車の変遷
Table 1. Changes in snow vehicle.

用途	1956	1960	1970	1980	1984
はん用	← KC20 (KD20) →			← KC40S →	← SM40S →
			← KD60 →		
内陸高緯度用			← KD60 →		
内陸 73°S 以北用				← SM50S →	
海氷上用			← SM15S →		
				← SM20S →	

車のエレメントを極力活用し、信頼性と部品の互換性を図るとともにコストの低減を意図した SM40S 型を南極専用車として開発し、1981 年から使い始めた。

一方、内陸調査旅行専用雪上車としては、南極点往復調査旅行を行うため 1963 年から開発を始めた KD60 型雪上車が最初で、初号機を 1965 年に昭和基地に持ち込み、以後年間 2-3 台ずつ製造した。1968-1969 年には気温 -60°C 、高度 3 800 m にも性能を発揮し、南極点往復調査旅行に活躍したが、1970 年以降は、主な観測地域が 73°S 以北に限定されるようになったため、重装備の KD60 型雪上車では調査旅行の効率が悪いうえ他に用途がない特殊な雪上車でもあり、製造価格も高価につくので、この雪上車は生産を中止し、1976 年からは主に中距離の内陸調査を目的として、防衛庁向けの SM50 型雪上車を改造した SM50S 型雪上車を使うようになった。

これらの主力雪上車とは別に、昭和基地の特殊性から海氷上の調査旅行に対応し安全を期するため民需用の SM15 型、後半になって SM20 型雪上車を海氷が割れても浮いているように改造して装備している。

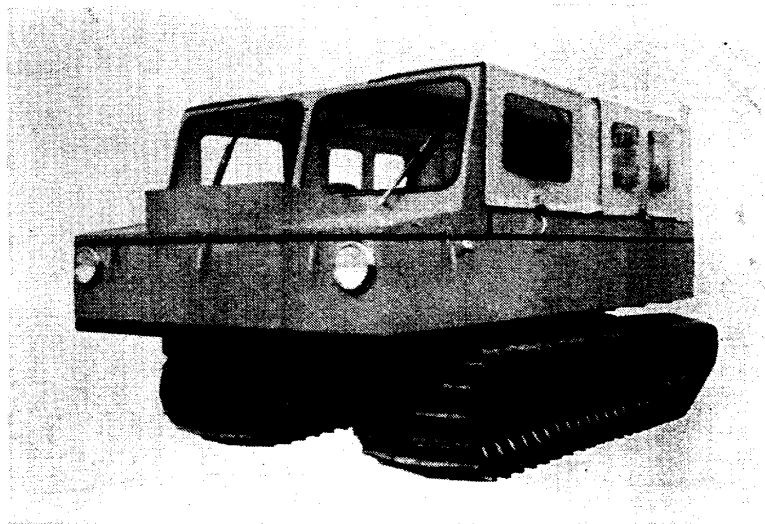
したがって、雪上車の現状は、表 2, 3, 4 に示す内陸旅行用の SM50S 型、はん用の SM40S 型および海氷上旅行用の SM20S 型の 3 種類で成り立っている。

3.2. 南極雪上車の問題点

3.2.1. 低温性能

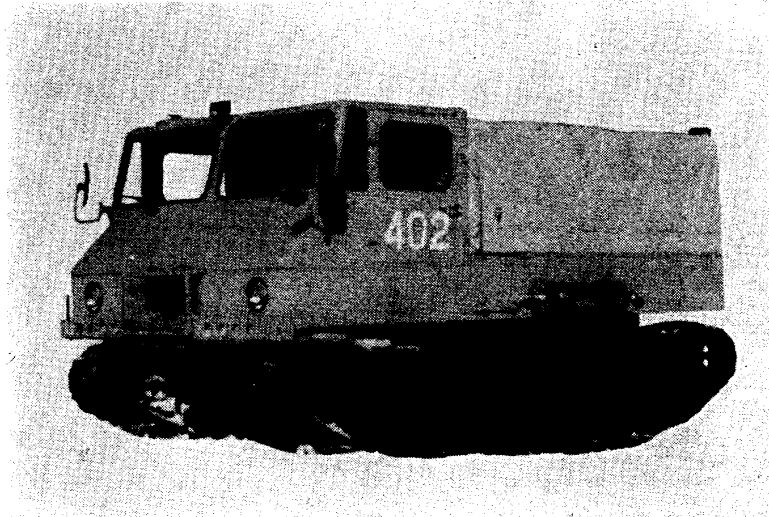
雪上車の低温対策は、周囲温度 -50°C を境に大きく変わってくる。昭和基地または基地周辺および沿岸海氷上の小旅行などに使用する場合は、未対策の KC20 型、SM15S 型雪上車の実績でも明らかなように、国内仕様の -30 — -35°C に対応できる性能で十分であり、

表 2 南極雪上車 SM20S 型
Table 2. Antarctic snow vehicle, type SM20S.



Manufacturer		Ohara Iron Works Co., Ltd.		Model		Isuzu C240 diesel engine	
Dimensions	Overall length (mm)	3 935		Engine	Type	Water-cooled, 4-cycle, 6-cylinder	
	Overall width (mm)	2 160			Piston displacement (l)	2.37	
	Overall height (mm)	1 950			Output horsepower rating fuel set at sea level (PS/rpm)	74/3 800	
	Ground contact length (mm)	2 040					
	Track width (mm)	660					
Weights	Weight (kg)	1 860		Clutch	Dry, single plate		
	Crew	2		Transmission	Synchromesh type		
	Payload (kg)	150		Differentials	Double differentials		
	Gross weight (kg)	2 120		Steering brake	Wet-3 shoe		
	Ground pressure (kg/m ²) (payload)	0.08		Driving system	Full-track, rear drive		
				Track	Rubber belt type		
Performance	Maximum speed (km/h) (paved way)	41		Road wheel	Pneumatic tire		
	Maximum speed (km/h) (on ice)	35		Suspension system	Rubber spring, independent suspension		
	Traverse speed (km/h)	5-15		Frame	Conventional type		
	Maximum pulling load (t)	1		Body	Cab-over engine type, floatable cabin		
	Minimum turning radius (m)	5.5					
	Climbing ability (degree)	30					
	Width of trench (m)	1					
	Vertical obstacle (m)	0.2					

表 3 南極雪上車 SM40S 型
Table 3. Antarctic snow vehicle, type SM40S.



Manufacturer		Ohara Iron Works Co., Ltd.		Model		Isuzu 6BD1 diesel engine	
Dimensions	Overall length (mm)	4 445		Engine	Type	Water-cooled, 4-cycle, 6-cylinder	
	Overall width (mm)	2 555			Piston displacement (l)	5.79	
	Overall height (mm)	2 400			Output horsepower rating fuel set at sea level (PS/rpm)	145/3 200	
	Ground contact length (mm)	2 250					
	Track width (mm)	710					
Weights	Weight (kg)	3 500		Clutch	Dry, single plate		
	Crew	4		Transmission	Synchronesh type		
	Payload (kg)	500		Differentials	Double differentials		
	Gross weight (kg)	4 000		Steering brake	Wet-3 shoe		
	Ground pressure (kg/m ²) (payload)	0.13		Driving system	Full-track, rear drive		
Performance	Maximum speed (km/h) (paved way)	45		Track	Rubber belt type		
	Maximum speed (km/h) (on ice)	40		Road wheel	Pneumatic tire		
	Traverse speed (km/h)	5-20		Suspension system	Rubber spring, independent suspension		
	Maximum pulling load (t)	4.5		Frame	Conventional type		
	Minimum turning radius (m)	6.3		Body	Cab-over engine type		
	Climbing ability (degree)	30					
	Width of trench (m)	1.9					
	Vertical obstacle (m)	0.6					

表 4 南極雪上車 SM50S 型
Table 4. Antarctic snow vehicle, type SM50S.



Manufacturer		Ohara Iron Works Co., Ltd.		Model		Isuzu 8PA1-NQR diesel engine	
Dimensions	Overall length (mm)	5 310		Engine	Type	Water-cooled, 4-cycle, 8-cylinder	
	Overall width (mm)	2 850			Piston displacement (l)	9.97	
	Overall height (mm)	2 870			Output horsepower rating fuel set at sea level (PS/rpm)	175/2 800	
	Ground contact length (mm)	3 000					
	Track width (mm)	810					
Weights	Weight (kg)	5 450		Clutch	Dry, single plate		
	Crew	4		Transmission	Synchromesh type		
	Payload (kg)	550		Differentials	Double differentials		
	Gross weight (kg)	6 000		Steering brake	Wet-3 shoe		
	Ground pressure (kg/m ²) (payload)	0.12		Driving system	Full-track, rear drive		
Performance	Maximum speed (km/h) (paved way)	45		Track	Rubber belt type		
	Maximum speed (km/h) (on ice)	35		Road wheel	Pneumatic tire		
	Traverse speed (km/h)	5-20		Suspension system	Rubber spring, independent suspension		
	Maximum pulling load (t)	7		Frame	Conventional type		
	Minimum turning radius (m)	8		Body	Cab-over engine type		
	Climbing ability (degree)	30					
	Width of trench (m)	2.2					
	Vertical obstacle (m)	0.6					

特別な対策を施さなくともよい。

内陸調査旅行を目的とする雪上車の低温対策は、構造用材料の吟味、構成部品の形状検討、車室の保温および暖房対策、機関予熱器の設置などによって -50°C まで対応できる性能を付与できる。このことは、SM50S 型雪上車の実績で十分に確認されている。高緯度の内陸や、冬季の内陸で使用するためには、 -50°C の対策からさらに機関、動力伝達装置の保温および暖房、ゴム系部品などのように温度依存性の高い部品の対策および金属材料との交換、浸炭材料などの衝撃性向上、電装品および燃料油脂の保温、暖房などが必要となるが、KD60 型雪上車の実績でも示しているように、雪上車の絶対条件である軽量化が達成できなくなり、けん引力が不足し、旅行に必要な貨物の輸送が危ぶまれてくる。なお、このような対策を施しても -60°C が限界と推定される。

3.2.2. 高地性能

内陸で使用する雪上車の高地における空気不足による機関出力低下の対策は、高度 1 000–1 500 m までならば国内仕様の未対策機関でも若干の出力低下で影響は少ないが、1 500 m 以上の高地になると何等かの対策が必要となってくる。

高度 3 000 m 付近までは、機関回転速度に適応させるように燃料噴射タイミングを制御して、着火性を向上するほかに、3 000 m に相当する空気密度に適合するように燃料流量を制限することによって、平地に比べ高地では約 25% の出力減で使用できるが、低い高度の地域や平地での出力を保持し、高度に比例した出力を得るためには、気圧に応じて燃料流量を制御するアネロイドコンペンセータなどを用いる方法がある。

3 000 m を超える高地では、積極的に空気を押し込む方法、たとえばターボ過給などの対策と燃料流量、噴射タイミングの制御が必要となる。

3.2.3. 未知な環境に対する処置

一般に南極で使う雪上車は、あらかじめ予想できない不確実要素の多い自然を対象に物資および人員の輸送、観測、生活の場を提供する目的を有するが、設計性能の範囲を超えた予測できない特異な環境条件に遭遇し、時として雪上車に不具合が生じることがある。この不具合の対策に関しては、その都度、個々に取りあげて設計・製造上の配慮をするか否かは一義的に決めかねるものがあり、たとえ取りあげたとしても、その対策は事後処置となる。

3.2.4. 取り扱い性

内陸調査旅行では、旅行隊の編成上、雪上車は取り扱いに熟知した隊員によって運用されることはまれで、未経験者が運用するため、極力メンテナンスフリーで、操縦操作が容易であることが望ましいが、現状では困難である。

4. ま と め

南極雪上車は用途によって内陸旅行用，基地の雑務，内陸旅行のサポート，小旅行などに使用するはん用および海氷上用の3種類に区分され，それぞれに特徴を有するが，これらは需要単位が小さいため，国内で生産する民需用または防衛庁向けの雪上車を母体に要求条件に応じて改造しているとはいえ，国内の雪上車の動向によって決定された仕様であって，必ずしも観測隊の要望する雪上車とは言い難いが，独自の雪上車を開発することは，費用対効果のバランスを崩すことにもなり，難しい面がある。

しかし，国内の積雪地の条件とはあらゆる面において異なる厳しい自然環境の中で，観測目的を達成させるための足として，また，生活の場としての機能・性能を十分に有する雪上車を装備することは，観測の安全，能率の向上につながる大事なことであり，このためには雪上車を運用する立場から現在の3種類の雪上車を検討し直すことが必要であろう。

(1984年8月2日受理)