

日本の南極観測基地における氷雪上の
滑走路設置の可能性について
— 東南極航空網構想に関連して —白石 和行¹・Valery KLOKOV²Note on the Feasibility of Establishing Snow and
Ice Runways at Japanese Antarctic Stations
— In the Context of the East Antarctic Air Network —Kazuyuki SHIRAISHI¹ and Valery KLOKOV²

Abstract: This report summarizes the feasibility study to introduce intercontinental air operation for the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) by establishing hard-surface runways near JARE stations. Syowa Station and the Yamato Mountains areas were considered to identify the favorable sites for runway construction on the basis of historical meteorological data and glaciological conditions. Techniques and logistic facilities for snow-ice runway construction, and the general characteristics of aircraft that are of practical interest in Antarctica are briefly outlined. Moreover, international collaboration to improve the East Antarctic Air Network is emphasized.

要旨: 日本南極地域観測隊に大型航空機を導入して大陸間航空路を設けることの可能性を研究した。昭和基地、やまと山脈近傍の雪面や青氷上に、車輪で離発着できる固い滑走路を建設できる場所を検討した結果を、その建設方法の概略や発着できる航空機の性能などとともに示した。さらに、東南極航空網計画を国際的に推進することの必要性を説いた。

1. はじめに

日本は現在4つの基地を南極に保有しており、そのうち2つの基地が通年越冬運営されている。日本南極地域観測隊 (JARE) がこれまでに活動してきた地域は東経 20° から 55° にまたがっていて、周辺地域ではロシア、オーストラリア、ドイツ、インド、ノルウェーの諸国が活動している。

JARE では従来、2機の小型の固定翼機 (ピラタスポーターPC-6/B2-H4 とセスナ A-185F) が沿岸や内陸での航空機観測 (エアボーン観測) や基地間の連絡に用いられ、南極観測船「しらせ」搭載の2機のヘリコプター (シコルスキーS-61A) が船から基地への輸送、沿岸での野

¹ 国立極地研究所。National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

² Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering Street, 199397 St. Petersburg, Russia.

外調査支援に用いられてきた。また、「しらせ」には小型ヘリコプター (ヒューズ OH-6D) も搭載されており、小規模な偵察に用いられている。観測隊独自のヘリコプターのオペレーションは 1990-91 年にセールロンダーネ山地で実施したことがある。

今日までに JARE は大陸間の航空手段を持っていないが、以下の理由から、車輪で離発着できる大型航空機の使用を考慮すべき時がきたと考えられる (白石, 1995 も参照のこと)。

- ・南極大陸へ隊員や緊急物資を毎年のシーズン当初の、現在のオペレーションよりもずっと早い時期に、迅速に、しかも広範囲にわたって輸送することができる。
- ・南半球の他の大陸と南極大陸間の航空路により隊員の交替が容易になる。往復の時間が最小限で済むことにより研究効率が格段に高まる。
- ・短期間しか南極観測事業に参加できない研究者や関係者が現地を訪れることが容易になり、JARE の観測計画の質的向上が得られる。

本研究は大陸間航空オペレーションを JARE に導入し、日本の南極観測事業の発展を促すにあたっての実際上の方法を見出すことを目的としている。ここでは 2 つの主要な問題点について考察した。第 1 は、昭和基地に近接した地域での固い氷雪上の滑走路の建設に適した場所を選定することであり、第 2 には、オーストラリアやアフリカと南極の各国の基地とを結ぶ、東南極航空網 (East Antarctic Air Network: EAAN) と呼ばれる、国際協力事業の一端を JARE が担うことができる可能性を示すことである (白石, 1995)。南極大陸における滑走路建設に関する、土木工学的、雪氷工学的な研究はすでに多く発表されており、ここでは簡単に解説するにとどめる。邦文では、最近の東 (1996) による解説を参照されたい。

この報告は著者のひとり V. KLOKOV が、日本学術振興会の招きにより 1997 年 3 月から同年 5 月まで国立極地研究所に滞在中になされた共同研究の概要を紹介するもので、詳細な英文報告は別途発表する (KLOKOV and SHIRAIISHI, 1997)。

2. 滑走路候補地域の選定

大陸間を飛行できるような大型航空機が、車輪で離発着できる滑走路の表面は相当な強度を持っていなければならない。そのような滑走路を南極大陸で求めるならば、以下の 3 種類に分けられる。

- 1) 舗装または、未舗装の陸上滑走路、
- 2) 海氷上に設定した滑走路、
- 3) 大陸氷床上の滑走路。

昭和基地のあるオングル諸島には砂利を敷き詰めた滑走路を容易に建設できる場所はない。梅村・半貫 (1993) は東オングル島内にツインオッター程度までの小型航空機を想定した滑走路の建設の可能性を示したが、大型航空機の発着に耐える滑走路を建設するためには相当に大規模な工事を必要とし、現状の JARE にとっては現実的ではない。他のリュツォ・ホルム湾沿

岸の露岩地帯の地形も起伏に富むため、陸地の上に滑走路を設けられる可能性はない。一方、内陸のやまと山脈やセルロンダーネ山地にはモレーン原が広がる地域もあるが、礫が大きくて起伏もあるので滑走路には適さない。したがって、昭和基地周辺で滑走路が建設できる場所は雪や氷の上に限られることになる。氷雪上の滑走路として、ここでは、まず海上の「定着氷上の滑走路」陸上の「圧密した雪上の滑走路」について可能性を検討する。後者はさらに、深い積雪地域と、積雪の少ない氷河水の地域とにわけて考えることにする。これらの条件に相当する地域で、昭和基地にもっとも近い地域を対象として検討した。

3. 昭和基地付近の気象の概要

気象庁によってまとめられている日本の南極基地の気象観測データを収集し、昭和基地の1955年から1995年までの観測に基づいて、候補地域の気候的な特徴を検討した。昭和基地の東約20 kmにあるS16地点（見返り台）における無人気象観測点のデータは1988年についてのみ得られた（松原ら、1990）。昭和基地にもっとも近くて広大な青氷地域が得られる「やまと山脈」でのまとまった期間の気象データは入手できなかった。

最高気温と卓越風向は、氷雪上の滑走路の建設と維持に際して大きな影響を与える気象要素である。とくに、最高気温は雪上の滑走路計画にとって非常に微妙な要素である。雪を効果的に圧密するのに最適な温度条件は $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$ なので、最高気温が 0° 前後の少量の融解を引き起こすような温度条件が「圧密した雪上滑走路 (compacted snow runway)」の建設と維持にとって理想的である（KLOKOV, 1979）。一方、青氷地帯での融解は氷の中に空隙 (melt cavities) を発達させるために、「氷上滑走路 (ice runway)」の建設にとってはマイナスの要因となる。

風は滑走路の建設と航空オペレーションの両方にとって、最も重要な要因である。滑走路の方向は風向に沿うか、あるいはなるべくそれに近づけなければならないため、卓越風向のゆらぎの範囲を知る必要がある。また、風向風速の記録によって、航空機が駐機しているあいだに問題となる突風が起こる頻度を知ることができる。一般に、卓越風向は昭和基地では北東であり、S16では東北東である。やまと山脈では南東の風が卓越するが、地形の影響を大きく受ける。

4. 滑走路候補地の雪氷学的条件

3.1. 昭和基地付近の定着氷

平坦な海水は車輪を装着した航空機（以下、装輪機という）のための滑走路としては魅力的である。南極大陸周辺の海にはかなり厚い定着氷がひろく分布する。厚い多年氷の一部は何年にもわたって安定に存在し、昭和基地付近も例外ではない。リュツォ・ホルム湾の2年氷または多年氷の氷厚は西に向かって160 cmから300 cmと次第に厚くなる傾向がある（YOSHIDA and MORIWAKI, 1983）。東オングル島に接する多年氷地域は1957年の昭和基地開設以来、スキー

を装着した小型固定翼機の滑走路として使われてきた。しかし、1980年に海水が割れて係留中の航空機が失われるという事故があったことでもわかるように、必ずしも安定していない。

NAKAWO (1982) は昭和基地付近で海水を人工的に海水の上に溢れ出させて氷板を厚くし、堅固な滑走路となす方法について論じた。昭和基地の月平均気温の検討から、こうした人工海水の滑走路は3月から9月まで維持することが可能であるという。建設中の氷温度が平均 -10°C であれば、作られる氷の厚さは最高3.8 mに達すると見積もられる。しかし、ブリザードや降雪などの気象条件や、また降雪後の除雪に多大な労力を要することから、建設可能な期間は十分にとれないと思われるため、実際に可能な氷厚はずっと少ないであろう。

天然の海水にせよ、人工海水にせよ、昭和基地付近の海水上に大型装輪機用の滑走路を建設することは無理ではないが、そのためには、多大な労力と特殊な建設機械類が必要である。さらに、毎年同じ場所に滑走路を確保するうえでの本質的な問題がある。いったん建設された滑走路の上は常に除雪しておかねばならないため、その周囲に除雪した雪がうずたかく積まれることになる。これは海水に過剰な荷重をかけ、そのため海水に割れ目を生じさせ、ついには滑走路そのものの破壊に繋がる。したがって海水上の滑走路は長期的な使用には耐えられないという結論になる。

3.2. S16 (見返り台) 付近の大陸沿岸部

S16 (見返り台, $69^{\circ}02'\text{S}$, $40^{\circ}03'\text{E}$) は昭和基地の東約20 kmの標高554 mの大陸上にあつて、JAREの内陸トランス隊の出発点となっている (図1)。WATANABE (1978) による雪氷層序学的研究によれば、この付近の雪の堆積条件は標高がほぼ同じであるマラジョージナヤ基地の滑走路によく似ており、雪を圧密して作った固い滑走路面の建設に適している。おそらく、候補地としては年間積雪量が70-80 cmのS16からS18にかけての地域が有望である。

しかし、マラジョージナヤ基地での経験でわかるように、こうした深い積雪地域での滑走路建設には多大な労力と多くの重機が必要である。さらに滑走路を維持するために、一定の建設手順の全部または一部を毎年繰り返し実施する必要がある。また、マラジョージナヤ滑走路と異なり、S16からS18にかけての地域には露岩がないため、地上設備や重機が雪に埋もれないようにデポできる場所が得られないことも問題である。こうした否定的条件はすべて建設に要する経費にかぶさってくる。

圧密した雪上の滑走路の代替候補地として、ラングホブデ露岩の南方の青氷地域があげられる。ラングホブデ氷河とホノール氷河の涵養域には広い青氷地域が広がっているが、この地域は宗谷海岸でも安定した氷床地域であると考えられる。また、標高400から600 mの地域は比較的平坦な緩い斜面のようである。1:10,000の地形図から判断するとこの高度での勾配は約0.02である。これは大型航空機にとって十分クリアできる傾斜であると思われる。しかし、実際に現地調査を入念に実施することが重要で、とくに氷床表面の融解状況、クレバスや表面形

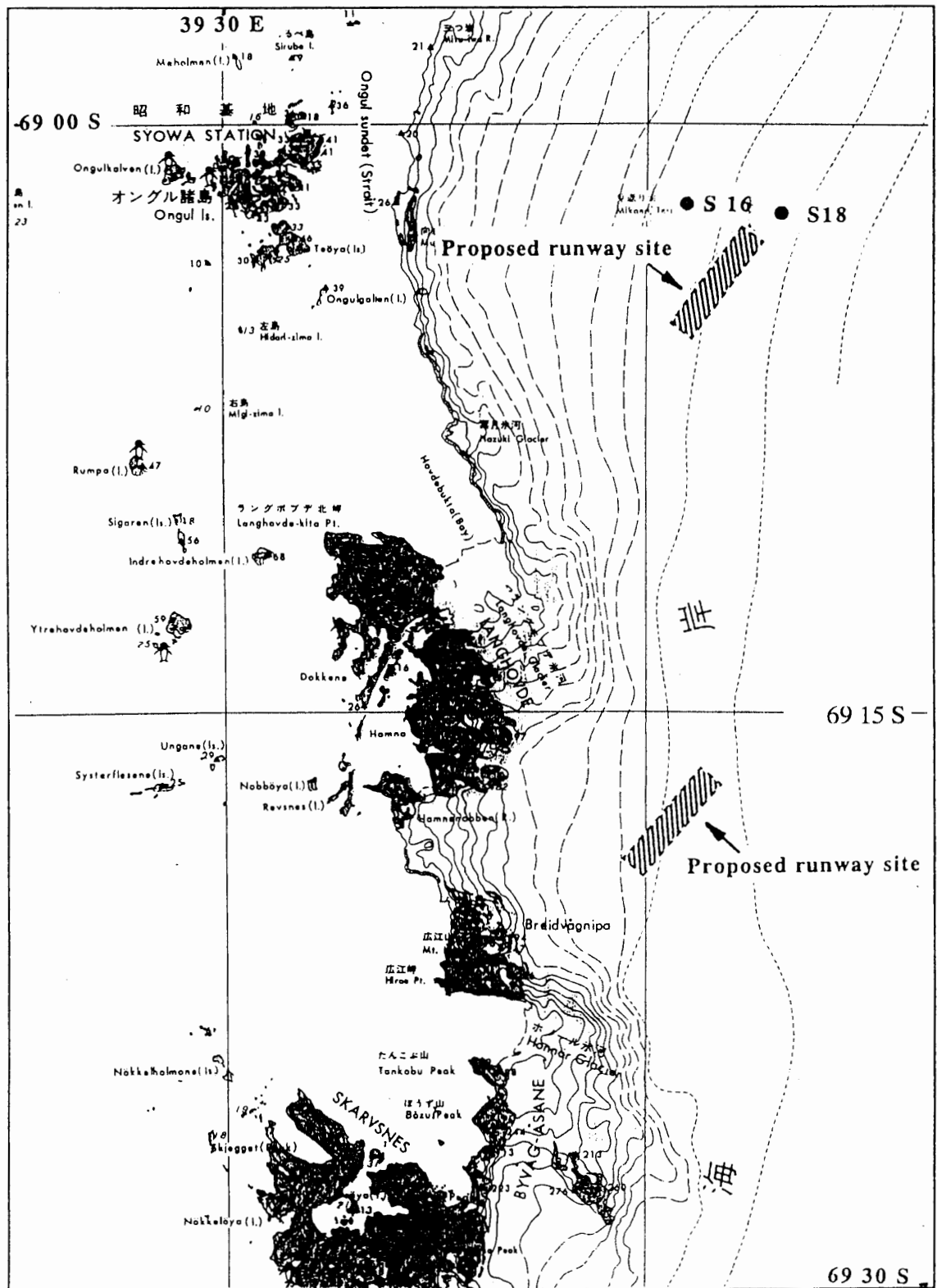


図1 昭和基地周辺の滑走路建設地案 (KLOKOV and SHIRAISHI, 1997 より引用).

Fig. 1. Proposed runway sites in the coastal area east of Syowa Station (after KLOKOV and SHIRAISHI, 1997).

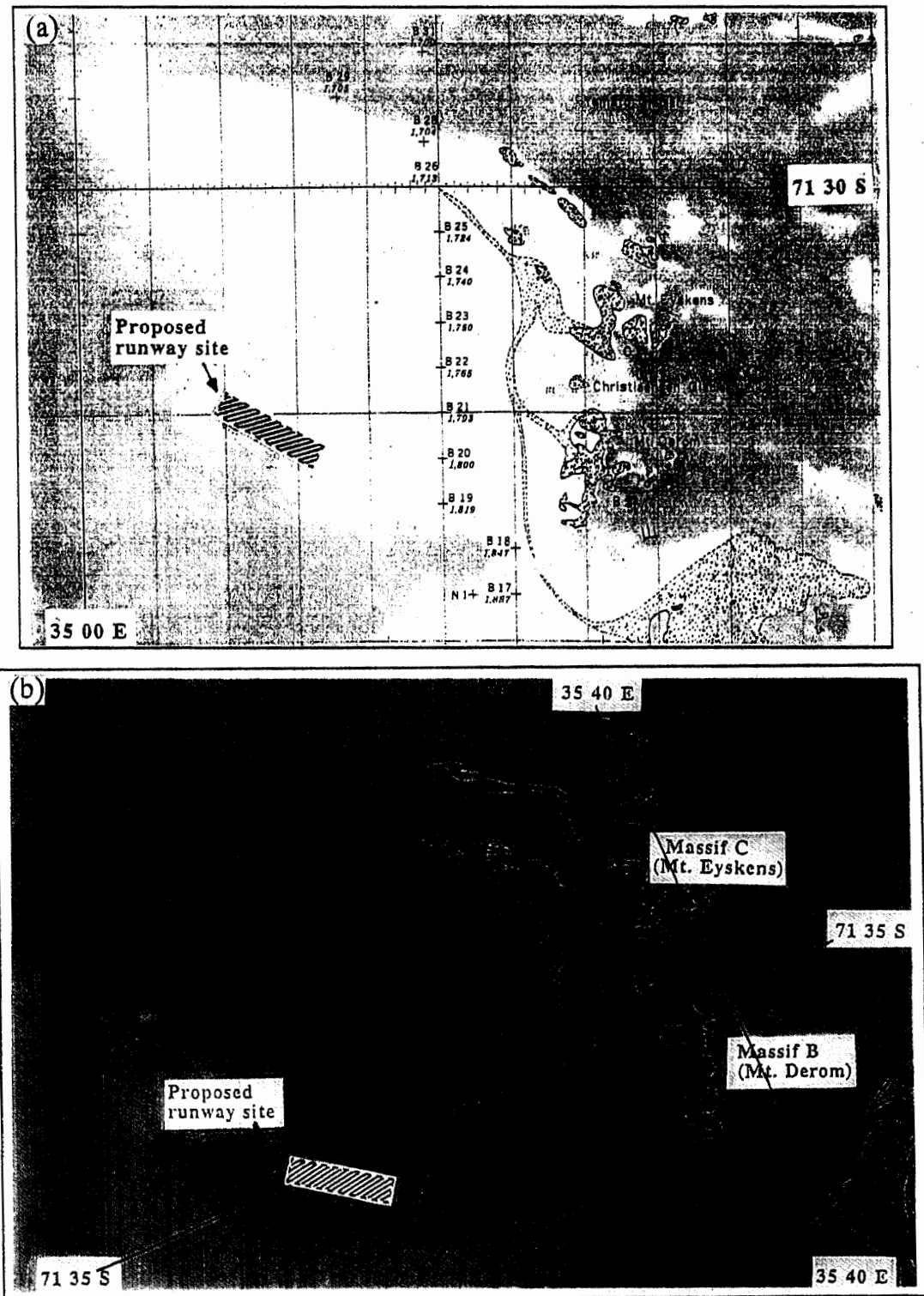


図2 やまと山脈付近の滑走路設定位置案 (KLOKOV and SHIRAISHI, 1997 による).
 (a) JARE 1:200,000 地図上の範囲, (b) 衛星写真図.

Fig. 2. Location of the proposed runway site in the Yamato Mountains: (a) JARE 1:200,000 scale map of the area; (b) satellite image of the area. The prospective site for a blue-ice runway is shown by hatches (after KLOKOV and SHIRAISHI, 1997).

態などの小地形の状況を確認せねばならない。

3.3. やまと山脈の青氷地帯

やまと山脈周辺の氷床には広大な青氷地帯が存在し、南極における大型装輪機の離発着場としての可能性がある地域のひとつである (SWITHINBANK, 1991)。JARE ではこれまでにセスナ機やピラタス機によって、やまと山脈付近の青氷上に車輪で離発着した経験があるが、1996年の12月から翌年1月にかけて、ツインオッター機で現地を調査したアドベンチャーネットワーク (ANI) 社は、大型航空機の離発着にもなんら支障がないという結果を得たという (Ann KERSHAW, 私信)。

この地域の青氷域の広さは 800 km² におよび、71°10'S-72°30'S と 34°30'E-37°00'E の範囲に広がる。この青氷地帯に関して重要な2つの要素は表面地形の急峻さと、傾斜がきつくなるにつれカタバ風が強くなるということである。このようなところでは風によって表層の雪が削剝される結果、青氷域を形成する。

白石が1973, 1979, 1980年の3回にわたってやまと山脈の地質調査をした際に地上および空中から観察したところによると、青氷帯の下流部はクレバスがほとんどなく、なかでも山脈中央部のB群とC群の西方が滑走路の建設に最適であるように思える (図2)。卓越風向である東南東に向かって十分な滑走距離が設けられ、風上にある山地との標高差は少ない。燃料のデポは、近くのモレーン又は南やまとヌナターク群に置けば良い。したがって、この地域には特別な滑走路の整備をしなくとも装輪機が着陸できるであろう。

4. 氷雪面上に「固い滑走路」を作る技術

「固い滑走路 (hard-surface runway)」というのは、ここでは大型装輪機が発着できるという意味である。今日では、この固い滑走路は南極大陸の沿岸部であれ内陸部であれ、どこにでも建設できるということが認められている (東, 1996 を参照)。すでに試験済みの建設技術も、十分な建設の経験もともに存在している。しかし、南極大陸の大部分は冷たく乾燥した、通常は数十メートルの厚さをもった雪で被われているため、どんなところにも固い滑走路を作るためには、相当の労力と多くの重機械の助けを必要とする。

このように、深い雪の上に固い滑走路を建設することは難しいが、ロシア隊では AVER'ANOV and KLOKOV (1975) に示されているような比較的簡便な方法を用いて、1981年にマラジョージナヤ基地の東10kmの地点に最初の滑走路が建設された。その方法は1) ディスクハロー (disk harrow) による雪の粉碎化、2) グレーダー (grader) による雪面の平坦化、3) 多重タイヤローラー (multiple-tire roller) による圧密化、の3段階からなっている。保守の方法も建設時と同じであるが、労力はずっと軽減される。

氷上、雪上を問わず、装輪機が使用する滑走路は、滑走時に轍をつくらぬほど堅く、離陸

表 1 南極で使われている装輪航空機の離発着に必要な滑走路の条件
(KLOKOV and SHIRAISHI, 1997 による).

*Table 1. Required parameters of snow pavements for wheeled aircraft use in Antarctica
(after KLOKOV and SHIRAISHI, 1997).*

航空機	最大離陸重量 (kg)	タイヤ圧 (MPa)	舗装の厚さ (m)	上層の硬度 (MPa)
C-130H	79380	0.7	0.5	0.8
イリュージン IL-76TD	190000	0.5-0.7	0.7	0.8
ドルニエ 228-100	5700	0.3-0.5	0.25	0.5
DHC-6 ツインオッター	5670	0.3-0.5	0.25	0.5

時の最大重量を支えきれただけ頑丈でなければならない。氷雪上の滑走路を設計するにあたっての主要なパラメータは航空機のタイヤ圧と最大離陸重量である。したがって、どのような機種を用いるかによって、設計が異なる。機種ごとのこれらのパラメータを表 1 に示す。

一般に、積雪のある地域よりも青氷地域のほうが簡便に滑走路を建設できる。雪のない氷河の上は格別な処置をすることなく装輪機の使用に耐える。しかし、いくつか考慮しなければならないことがある。まず、青氷の表面にはスプーンですくいとった跡のような凹凸があり、あまり平滑ではない。第 2 に、滑走路の全範囲にわたって氷の中に空隙やクレバスがあってはならない。第 3 に、青氷帯の融解期間の長さやその程度を知らねばならない。夏期間に融解を起こす青氷地帯の滑走路では、それを防ぐために事前に表面を雪でおおって養生しておかねばならない。そのような雪のカバーは融解から表面を守るだけでなく、滑走路の表面摩擦係数をあげることになり離発着やタクシーイングに都合がよい。融解水の乗った氷は非常に滑りやすい

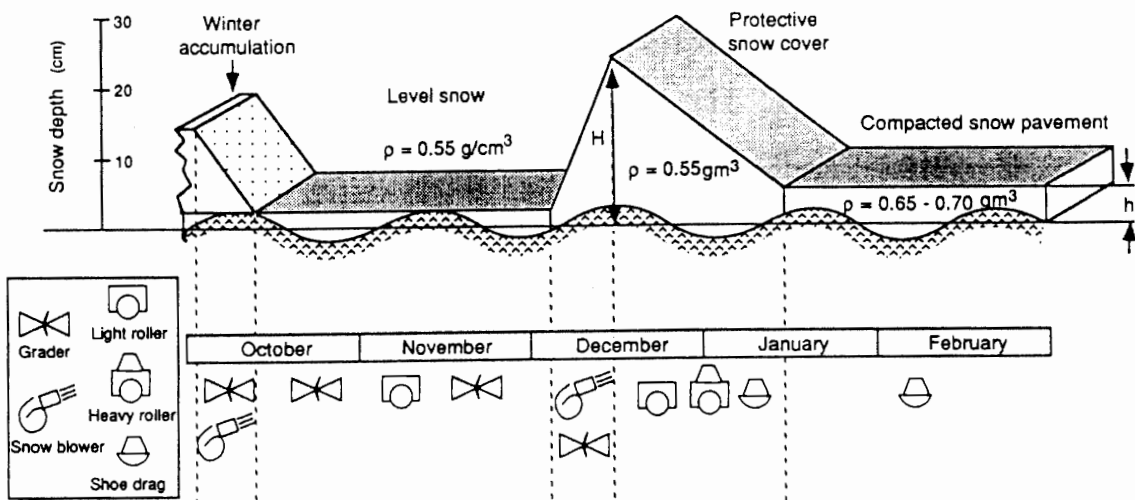


図 3 夏期に融解する青氷上の滑走路の表面に雪の層をかぶせる方法の概念図 (KLOKOV and SHIRAISHI, 1997 による).

Fig. 3. Schematic outline of protective snow pavement construction on a blue-ice runway affected by melting (after KLOKOV and SHIRAISHI, 1997).

からである。こうした氷上滑走路は1982年、ノボラザレフスカヤの南15kmの地点に最初に建設された。同様の滑走路はマラジョージナヤ基地でも1982年から1994年まで使用された。

最初の建設時とその後の毎年の保守の方法は、大型グレーダーやロータリー式氷粉碎機を使って、表面を平らにし、雪の保護層が必要な場合は定期的に雪を押し固める必要がある(KLOKOV and DIEMAND, 1995)。氷上滑走路の表面に雪の保護層を作る方法は簡便で経済的である(図3)。

青氷上の雪の保護層の材料には冬の間青氷に積もった降雪か、スノーブローワーにより滑走路から取り除かれた堆雪を用いる。この方法では、雪が融解する割合よりも厚めに雪を敷き詰め、また、飛行シーズンの終了後に再び雪を取り除く必要がないような厚さにとどめることがミソである。

5. 大陸間及び大陸内で用いる航空機

表2に南極で実際に用いられている航空機の特徴を示す。

南極大陸への往復に用いられる航空機を選択する際にはさまざまな要件を考慮せねばならない。まず、航空機は次の3条件を満たす必要がある

- 十分な航続距離をもつこと。不時の際に、未発達な南極大陸内航空網のなかで、最寄りの代替空港までか、または出発地まで帰還できるだけの航続距離が必要。
- 多発機でSTOL(短距離離発着)性をもち、しかも離発着時の接地圧が低く、翼の位置が高いこと。
- 後部ハッチ、キャビンに重量物を吊り上げられるウインチ、乗客用設備などを備えていること。

イリュージン IL-76TD やロッキード C-130 クラス(ハーキュリーズ)の2タイプがこれら

表2 南極で使用できる航空機の特徴(KLOKOV and SHIRAIISHI, 1997による)。

Table 2. Characteristics of aircraft with potential for Antarctic use (after KLOKOV and SHIRAIISHI, 1997).

航空機	スキー /車輪	翼の長さ (m)	全長 (m)	全高 (m)	最大離陸 重量 (kg)	離陸 距離 (km)	最大積載 重量 (kg)	航続距離 (満載時) (km)	航続 距離 (km)
ロッキード LC-130R	車輪	40.4	29.8	11.6	70310	1090	19685	2435	7871
ロッキード LC-130J	車輪	40.4	29.8	11.6	79380	890	20181	2978	8654
イリュージン IL-76TD	車輪	50.5	46.6	14.8	190000	1500	50000	3650	10580
ドルニエ 228-100	スキー /車輪	17.0	16.6	4.9	6400	450	2201	870	2440
DHC-6 ツインオッター	スキー /車輪	19.8	15.8	5.7	5670	260	2350	690	2030

表3 南極内の飛行に利用できる双発ヘリコプターの緒元
(KLOKOV and SHIRAISHI, 1997 による)。

Table 3. Technical parameters of twin-engined helicopters for proposed operation in Antarctica (after KLOKOV and SHIRAISHI, 1997).

ヘリコプター	最大航続距離 (増槽利用) (km)	巡航速度 (km/h)	キャビン容積 (m ³)	最大離陸重量 (kg)	最大積載量 (kg)
ミル MI-8	760	220	12.5	12000	4000
シコルスキーS-62	473	268	10.9	9185	3630
シコルスキーS-76	533	269	5.8	5307	2300
シコルスキーS-92	741	259	16.9	10079	3750

の要件を満たす。イリュージンは大型でスピードが速く、STOL 性を持つ。しかも、この機体は低圧で雪上の滑走路に轍を残さない 16 個の大直径タイヤをもつ。しかし、燃費の不経済なターボエンジンを持つことが最大の難点である。

過去 30 年にわたって、南極でもっとも実用的な長距離輸送用の航空機はスキーを装着したロッキードの C-130 ハーキュリーズであった。最近、固い表面の滑走路がペガサス (マクマード地域) とキングジョージ島に建設されて以来、アルゼンチン、チリ、イタリア、ニュージーランド、米国などの国々は車輪付きの C-130 を使用している。装輪機は、スキーを装着したときに比べ、3600 kg もの余分な物資や燃料を積んで離陸することができる。C-130J と呼ばれる次世代のロッキードのハーキュリーズは新たに開発されたエンジンとデジタル化された航法システムをもち、現在ある同型機よりも航続距離が 35% 延び、離陸距離が 22% も減少する。

ほとんどの大陸内での航空輸送は、短い滑走路でまかなえる、固定翼のスキー付き航空機により実施されている。現時点では、DHC-6 ツインオッターとドルニエ 228 ポーラーがある (表 2)。共に、ある程度は自力で渡洋できるが、南極へ船で輸送するには大きすぎる。したがって、運航経費は割り高とならざるを得ない。経費を安くするために、いくつかの国が共同で機体をチャーターして割り勘にするという方法が検討されてもよい。

ヘリコプターは伝統的に船を基地として短距離のオペレーションに用いられてきた。しかし、現在いくつかの国は、基地間や野外キャンプとの人員輸送や物資輸送に大型のヘリコプターを用いている。そうした長距離飛行には、途中で燃料中継地を置く必要があるが、同時に安全のために双発のヘリコプターをつかうことが常識になっている。表 3 に、双発ヘリコプターの主要諸元を示す。これまでもっとも実績があるヘリコプターはシコルスキーである。

6. 結 論

この 10 年間に南極の航空界はかつてなく国際的な構成になってきた。各国の南極観測事業では航空オペレーションの有効性が認められ、安全性を高めることが着実に進歩している。国際間の協力が進んで行けば必然的に南極大陸各地で固い滑走路の建設が進み、ネットワークが

形成される。特に多くの国々が散らばって活動している東南極では、そうした共同利用のための航空網はことさらに有効であろう。こうした航空網を作ろうという計画が東南極航空網計画 (East Antarctic Air Network (EAAN) project) である。

本研究では、JARE と RAE (ロシア南極観測隊) という、EAAN で将来提携する可能性のあるふたつの国によって、JARE の基地の近くで滑走路の可能性のある地域の気象や雪氷学的

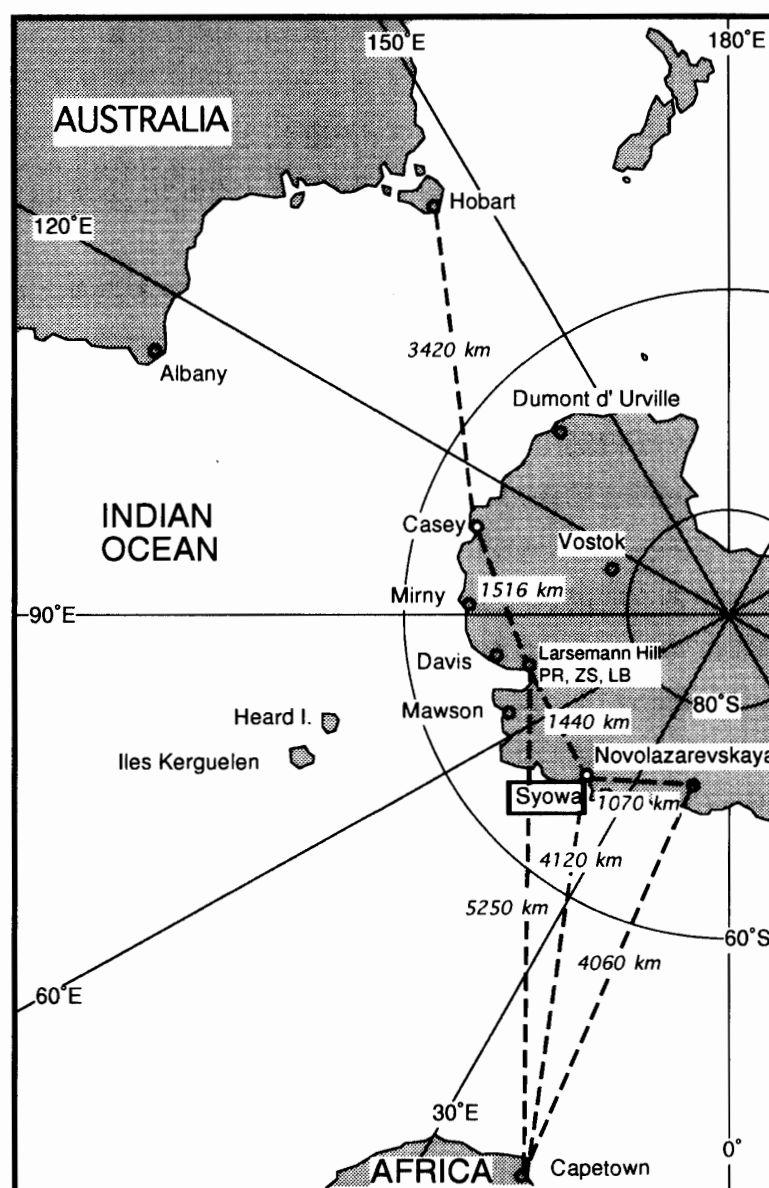


図4 オーストラリアとアフリカの玄関口空港と東南極航空網に参加する可能性のある南極基地 (KLOKOV and SHIRAISHI, 1997 による)。PR: Progress (Russia), ZS: Zhongshan (China), LB: Law Base (Australia)。

Fig. 4. Gateway airports in Australia and Africa and potential stations in the East Antarctic Air Network (after KLOKOV and SHIRAISHI, 1997).

な条件を検討した。昭和基地地域では「圧密した雪上の滑走路」と「青氷上の滑走路」の両方の可能性が示された。次の段階としては、実際に現地での調査を通じて、より具体的な検討を行うべきである。やまと山脈には広大な青氷地帯が広がり、なにも準備なくとも装輪機が使用できるだろう。非常の際には役に立つにちがいない。

EAAN でひとつのたたき台として、現在考えられている航空網案を図4に示す。この案ではオーストラリアとアフリカという二つの大陸と南極との間を結ぶ航空路を2ルート用意し、それぞれホバートとケープタウンを玄関口としている。いっぽう南極側では、固い滑走路を設定できる基地間を航空路で結んでいる。東経 60° から 120° の間にある恒久的な基地付近の自然条件についての情報 (KLOKOV, 1996) から、ケーシー基地、ラルスマンヒル、ノボラザレフスカヤ基地の3地点で比較的経済的に「固い滑走路」の建設が可能であるとみられている。これらに加え、本研究で示したように、昭和基地付近でも雪上または氷上の滑走路を建設できる可能性がある。

すでに滑走路を建設するための知識や技術的な可能性についてはほぼ確立していると考えてよいので、国際共同によって大型航空機をチャーターして運航するための現実的な計画をたてる時期になっているといえよう。しかし、その際には各国の財政的な負担を軽減するために、費用分担の方法を決めておかねばならない。EAAN のような国際間の航空路を創設するために、関係する可能性のある国々 (オーストラリア、中国、日本、ロシア) のあいだで計画を進めるための協定がむすばれるべきであろう*。

謝 辞

本共同研究の実現に援助をいただいた、日本学術振興会に篤くお礼申し上げます。

文 献

- AYER'ANOV, V. and KLOKOV, V. (1975): Engineering and glaciological considerations and construction technology for snow runways in Antarctica. Tr. Sov. Antarkt. Eksped., 177-203 (in Russian).
- 東 晃 (1996): 南極へ航空機を飛ばそう。極地, 63, 48-54.
- KLOKOV, V. (1979): Melting and Surface Runoff on the Antarctic Ice Sheet. Leningrad, Gidrometeoizdat, 167 p.
- KLOKOV, V. (1996): Feasibility of establishing a snow/ice runway in the 60°E-120°E sector of the Antarctic coast. ANARE Spec. Rep., 53 p.
- KLOKOV, V. and DIEMAND, D. (1995): Glaciology of the McMurdo Ice Shelf in the area of air operations. Contributions to Antarctic Research IV, ed. by D.H. ELLIOT. Washington, D.C., Am. Geophys. Union, 175-195 (Antarct. Res. Ser., Vol. 67).
- KLOKOV, V. and SHIRAIISHI, K. (1997): Practical aspects of establishing snow and ice runways at JARE stations: In the context of the East Antarctic Air Network. Mem. Natl Inst. Polar Res., Ser. F (Logistics), 5, 27 p.

* 本文の投稿後、ラルスマンヒルに基地を持つロシア、オーストラリア、中国の三国は、同地に滑走路建設の協定を結び、1997/1998 シーズンから現地での作業に入ることになった。

- 松原廣司・土井元久・上窪哲朗・岡田憲治 (1990): 第 29 次南極地域観測隊気象部門報告 1988. 南極資料, **34**, 175-215.
- NAKAWO, M. (1982): On the possible thickness of artificial ice built up for airstrip at Syowa Station, Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar. Res., Spec. Issue, **24**, 274-282.
- 白石和行 (1995): 東南極航空網構想の現状と課題—SCALOP 南極航空輸送網ワークショップ (1995 年 4 月) から. 南極資料, **39**, 170-188.
- SWITHINBANK, C. (1991): Potential airfield sites in Antarctica for wheeled aircraft. CRREL, Spec. Rep., **91-24**, 68 p.
- 梅村晃由・半貫敏夫 (1993): 東オングル島飛行場建設計画の工事評価. 南極資料, **37**, 176-195.
- WATANABE, O. (1978): Stratigraphic studies of the snow cover in Mizuho Plateau. Mem. Natl Inst. Polar. Res., Spec. Issue, **7**, 154-181.
- YOSHIDA, Y. and MORIWAKI, K. (1983): Sea ice condition around Syowa Station, Lützow-Holm Bay, in 1981 (abstract). Mem. Natl Inst. Polar. Res., Spec. Issue, **29**, 217-218.

(1997 年 6 月 3 日受付; 1997 年 9 月 24 日改訂稿受理)