

極限環境における基地建設に関する研究

～南極におけるこれまでとこれから～

Research on Base Construction in Extreme Environments

～Past and Future in Antarctica～

○遠山 諒 (京都大学) *1

金多 隆 (京都大学) *2

西野 佐弥香 (京都大学) *3

*1 Ryo Tohyama, Kyoto University, 13-1-Oak Field 2 A 202, 615-8183, ryo.tohyamaforsotsuron@gmail.com

*2 Takashi Kanete, Kyoto University

*3 Sayaka Nishino, Kyoto University

キーワード:南極,基地,工業化工構法,ユニット

1. 緒言

海中や宇宙など過酷な環境において人類が生活を行うには、それぞれの環境に適した基地の建設が必須である。極限環境のひとつである南極では、各国が通年使用可能な基地を建設している。しかしながら、資材の現地調達ができず、外部で実施可能な作業に限られており、通常とは異なる環境下での建設になるため、どのようなデザインがより適切であるか、どのような建設方法であればそれが実現できるかなど、検討すべき課題は多い。そこで本講演では、南極において30年以上前から運用され、度々建て替えが行われてきた米国のAmundsen Scott station、ドイツのNeumayer station、英国のHalley stationを取り上げ、各基地の形態、設計における工夫、建設方法の変遷について主にインターネットで公開されている文献・資料を検討して詳細を明らかにし、今後の展望について考察を行う。

2. Amundsen-Scott station

2.1. Amundsen-Scott stationの基本情報

Amundsen-Scott stationは南極点付近にあるアメリカ合衆国の南極基地であり、厚さ約2800mの氷の上に乗っていて毎年少しずつ南極点に近づいている。

この基地では天文学や気象学などの研究が行われていて過去2回建て替えられており、それぞれをAmundsen-Scott I、Amundsen-Scott II、Amundsen-Scott IIIと表現する。

2.2. Amundsen-Scott stationの歴史

1956年から運用が開始され、当初は単なる木造の小屋のAmundsen-Scott I(図2.2.1)であったが一度目の建て替えでドーム型のAmundsen-Scott II(図2.2.2)になり、二度目の建て替えで現在の高床式の形状のAmundsen-Scott III(図2.2.3)になった。これらの設計は当初はアメリカ海軍の工兵部隊が行っていたが現在は設計を民間企業に依頼したものが使用されている。

プレハブ工法で建てられ、全ての建築資材は南極海沿岸部から飛行機で輸送され現地で組み立てられた。施工は初

めはアメリカ海軍が行っていたが次第に民間会社が行うようになった。基地が建設されるのは基本的に南極が白夜となる夏(11月～3月)の間であり建設期間のみ臨時の宿泊施設を現地に設置して一時的に人員を増加させて基地を建設した。基地の管理も同様に当初はアメリカ海軍が行っていたが次第に運営する権利が民間企業に譲渡され現在は完全に民間企業が運営している。また今までの基地は吹雪が建物に吹き付けることによる雪溜まりによって廃棄されている。



Fig.2.2.1 Amundsen-Scott I⁽¹⁾



Fig.2.2.2 Amundsen-Scott II⁽¹⁾

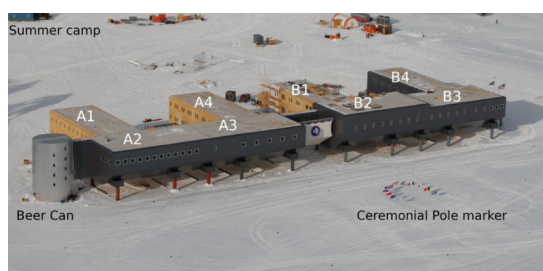


Fig.2.2.3 Amundsen-Scott III⁽¹⁾

3. Neumayer station

3.1. Neumayer stationの基本情報

Neumayer stationは南極海沿岸にあるドイツの基地であり、厚さ約200mのエクストレム棚氷の上に乗っており毎年約200mずつ外洋に向かって棚氷とともに移動している。

この基地では大気科学や気象学などの研究が行われていて過去2回建て替えられており、それぞれをNeumayer I、Neumayer II、Neumayer IIIと表現する。

3.2. Neumayer stationの歴史

1980年から運用が開始された。二度の建て替えがされたのだが初めての基地であるNeumayer I(図3.2.1)と二代目の基地であるNeumayer II(図3.2.2)は地下に建設され、現在の基地であるNeumayer III(図3.2.3)は高床式で建設された。これらの設計は当初ドイツの極地研究機関が行っていたが現在は民間企業により行われている。

この基地もアメリカの基地と同様にプレハブ工法で建設された。沿岸部付近に基地が位置しているので船と雪上車を用いて資材が搬入され現地で組み立てが行われた。基地が建設されるのはアメリカのものと同様に基本的に南極が白夜となる夏の間であり建設期間のみ臨時的宿泊施設を現地に設置して一時的に人員を増加させて基地を建設した。施工も当初はドイツの国の機関が行っていたが次第にその役割が民間に移行され現在の基地は民間企業により建設された。またこれまでの基地は全て雪溜まりによって廃棄されている。

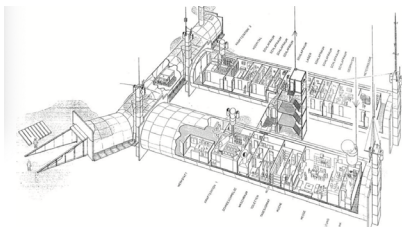


Fig.3.2.1 Neumayer I⁽²⁾

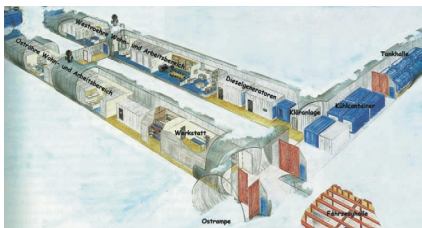


Fig.3.2.2 Neumayer II⁽³⁾



Fig.3.2.3 Neumayer III⁽⁴⁾

4. Halley station

4.1. Halley stationの基本情報

Halley stationは南極海沿岸にあるイギリスの基地であり、ウェッデル海に沿岸に建てられた基地であり厚さ約130mのブランチ棚氷の上に乗っており毎年約700mずつ西に向かって棚氷とともに移動している。

この基地では気候変動や海面上昇や宇宙観測などの研究が行われていて過去5回建て替えられており、それぞれをHalley I、Halley II、Halley III、Halley IV、Halley V、Halley VIと表現する。

4.2. Halley stationの歴史

1956年から運用が開始され5回も建て替えが行われた。Halley I(図4.2.1)とHalley IIは木造の小屋のようなものでありHalley III(図4.2.2)とHalley IVは基地の外壁を円管で覆った形でありHalley Vと現在使用されているHalley VI(図4.2.3)は高床式となっておりHalley VIは可動式である。これらの設計も当初は国の機関が行っていたが次第に民間企業が請け負うようになり現在の基地はコンペを勝ち抜いた民間企業が行ったものである。

施工はプレハブ工法で行われているが現在使用されている六代目の基地のみプレハブ工法のモジュールを六つ組み合わせる方法で建設されている。また基地は五代目を除いて雪溜まりにより廃棄されている。



Fig.4.2.1 Halley I⁽⁵⁾



Fig.4.2.2 Halley III⁽⁶⁾



Fig.4.2.3 Halley VI⁽⁷⁾

5. 各国の基地の比較

5.1. 基地の種類による耐用年数の分析

以上のことからアメリカ、ドイツ、イギリスの基地を見比べると基地の建てられる場所が違うことがわかりそれは大雑把にいうと3種類(地下式、地上式、高床式)に分類できる。(図5.1.1)

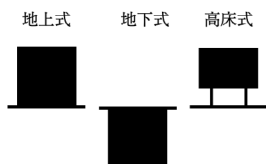


Fig.5.1.1 classification of bases

またそれぞれの外から見た時に雪から建物を守るためのカバーも異なっており、これらも3種類(四角、円筒、ドーム)に分類できる。(図5.1.2)なお四角いカバーは通常の家のように防雪壁が無く垂直の壁を厚くすることで内部を守り、ドームは半球型の防雪壁で内部を守るということである。



Fig.5.1.2 classification of bases

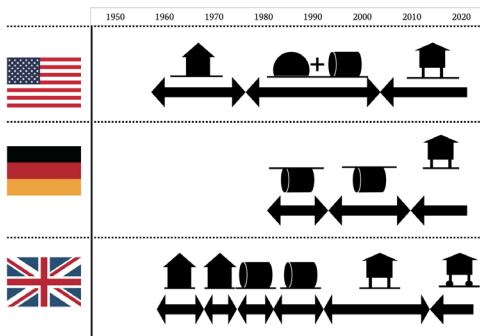
さらに基地そのものが水平方向に移動できるか(移動、定着)でも分類できる。(図5.1.3)



Fig.5.1.3 classification of bases

このようにそれぞれの基地はその場所、形状、可動性によって18種類に分類することができてそれらを各国で年代ごとにまとめると次の表ようになる。(表5.1.4)

Chart.5.1.4 classification of bases



この図より1955年~1975年頃までは防雪壁が無く通常の建物を寒冷地用に強化した基地を建設していたが、それ以降円筒型やドーム型の防雪壁を持つ基地や地下に建設された基地などの様々な工夫を行い、イギリスが高床式の基地を建設した後は防雪壁がなくなりそれぞれの基地が高床式に建設されたのがわかる。

またこれらを廃棄理由と使用年数(現在使用されている基地は予測耐用年数を記述している)によって分類したのが次の表である。(表5.1.5)

Chart.5.1.5 classification of bases

基地	基地の種類	使用年数	廃棄理由
Amundsen-Scott I		17	積雪による圧壊
Amundsen-Scott II		28	積雪による基礎変形
Amundsen-Scott III		(25-)	
Neumayer I		10	積雪による圧壊
Neumayer II		16	積雪による圧壊
Neumayer III		(25-30)	
Halley I		10	積雪による圧壊
Halley II		6	積雪による圧壊
Halley III		9	積雪による圧壊
Halley IV		8	積雪による圧壊
Halley V		20	棚氷の移動
Halley VI		(20-)	

この図の使用年数という部分に注目するとアメリカとドイツは基地を建て替えるごとに基地の使用年数は伸びており新基地の建設には成功している一方で、イギリスはI-IVまでは各基地で約10年ほどしか使用できておらず高床式を採用してようやく建て替えまでの時間を伸ばすことに成功したことがわかる。

また基地を地上に建設しようが地下に建設しようがすぐに雪溜まりによって基地は雪に埋もれてしまうのでそこまで耐久性に違いは無いように思われる。

廃棄理由に注目するとHalley Vを除いて全ての基地が積雪によって基地が廃棄されており積雪がいかに対処が難しく基地を破壊してしまうかがよくわかる。高床式の基地を建設することによって積雪による基地への影響はほとんどなくなるためこれからはかなり長い間基地を維持することができるようになるであろう。

またドイツの基地はイギリスの基地と同様に移動する棚氷の上に存在しておりいずれ外洋に放り出されてしまうので今後基地を建てる際は移動式のものに建て替えられるだろう。

Halley VIが建設されるまでは基地は雪面に建設され移動などはせず主な機能を持った部分は1つの建物にまとめられていたが、Halley VIは高床式かつ牽引により移動ができる上に基地の機能を分割しモジュールごとに各々を独立した建物として機能させたことによって積雪の問題や基地が移動してしまう問題さらに火災の延焼という問題も解決することができた。

5.2. 基地の設計者と建設者の分析

アメリカ、ドイツ、イギリスの各基地を設計、建設したものについて比較をした。(表5.2.1)(表5.2.2)

Chart.5.2.1 Designer

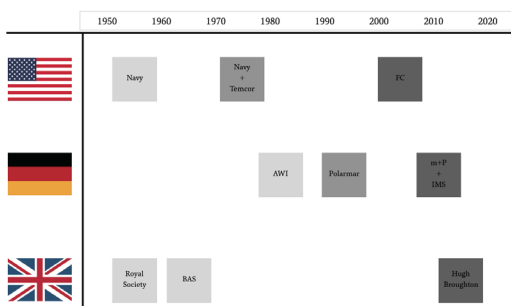
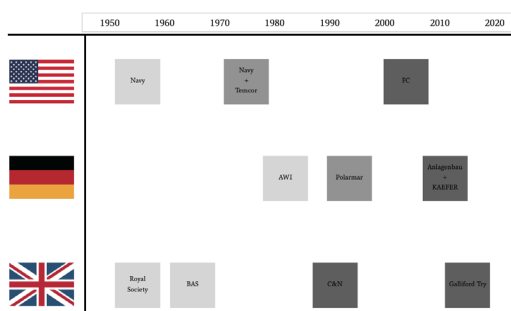


Chart.5.2.2 Builder



この表は薄い灰色の四角は国の機関が行ったことを示し濃い灰色の四角は民間の機関が行ったことを示しその中間の濃さの四角は国の機関と民間の機関が協力して行ったことを示している。

上の表よりどの国も最初の基地の設計・建設は国が行い段々と民間にその役割を引き継いだのが読み取れる。

イギリスの最新の基地の設計は設計案を一般募集しコンペで競い合い決定した。今回取り上げた基地でそのような方法で設計者を決定したのは唯一このHalley VIのみであり今までのものとは違いデザイン性に優れたものが出来上がった。

5.3. 各国の基地運営の分析

アメリカのAmundsen-Scott stationはIGYという国際的な地球観測期間が終了してから1973年までは一部アメリカ海軍が管理していたがその後NSF(アメリカ国立科学財団)が管理するようになり今日まで続いている。

ドイツのNeumayer stationは開業当初からAWIが管理しそれが今日まで続いている。

イギリスのHalley stationはIGYが終了してからはBAS(イギリス南極観測局、改名前はFIDS)が今日まで管理を続けている。

このNSF、AWI、BASというのはそれぞれアメリカ、ドイツ、イギリスの研究支援機関である。

NSFはアメリカ政府の議会の承認を得て予算を獲得しそれらを各研究者や研究機関に分配している。NSFに与えられる予算は毎年約8000億円ほどでありそのうち300億円ほどが南極に関する事業をまとめるUnited States Antarctic Program(USAP)に提供されその予算の一部を運営に当てている。基地建設などの際はNSFが直接工事を行う業者と契約して行っている。

AWI(アルフレッド・ウェゲナー研究所)はドイツの研究機関でありHelmholtz Association(HA)というドイツ最大の科学機関の一部に属している。このHelmholtz Associationに与えられる予算は約6000億円ほどでありこの2/3は政府が拠出している。このうちAWIに与えられる予算は100億円ほどでありそれらを基地の運営に当てている。

BASはイギリスの研究支援を行うNatural Environment Research Council(NERC)という機関から毎年約70億円の予算を獲得しその予算の一部を基地の運営に当てている。このNERCという機関は英国が科学の分野で世界有数の地位を確立することを目的としていてイギリスの行政機関であるDepartment for Business and Industrial Strategy(BEIS)から毎年約500億円が与えられている。

以上3つの南極での活動の支援機関のお金の流れについて次の図に表す。(図5.3.1)

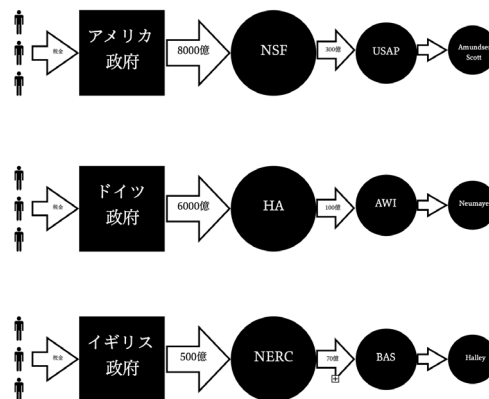


Fig.5.3.1 flow of money for Antarctic aid

上図から基地管理の予算はほとんど税金から拠出されているというのがわかる。

またやはり予算の規模はアメリカ、ドイツ、イギリスの順になっているのがわかる。現在利用されている基地の越冬者の数もアメリカが50人、ドイツが10人、イギリスが10人というように各国が南極支援する額が大きいほど越冬者の数も増やすことができより良い研究を行うことができる。

6. 南極基地建設の展望

本章におけるこれまでの検討をふまえると、今後の基地は高床式かつ可動式で1つ1つが独立したモジュールが集合した基地ができるものと思われる。

高床式にすることでこれまで最大の問題であった積雪による老朽化を防ぐことができる。可動式にすると氷の移動による弊害にも対応することができる上に長期間の基地の重みにより地盤が沈んでしまうというAmundsen-Scott IIで発生した問題にも対応することができる。またモジュールが集合した基地にすることで新たな施設が必要になった際は既存の基地に新しいモジュールを追加するだけで導入できる上に徐々にモジュールの基地を建てて建設の時期をずらすことで建て替えのタイミングも被らないようにすることができ建設期間に急激に基地の人口を増やすことなく安定して基地の拡大が可能である。また延焼などの可能性を減らすことができる。

また基地の設計、建設は民間企業が担うことが主流になると思われる。5.2に記述してあるように初めは基地を運営している国の団体が設計、建設を行っていたが2000年付近から徐々に民間企業と契約し基地の設計や建設を委託するという方式を採用してこのようにすることで幅広いデザインを取り入れるとともに民間企業が建設業務を行うことで普通のノウハウを用いて工事を効率よく進めることができるようになる。

現在南極で活動するのは主に科学者であり観測や実験を行っているが、近年南極の観光という新たなニーズが高まってそこに民間企業の参入する余地があるのではないかと思う。民間企業の運営する観光用南極基地というものも近い将来できるであろう。

7. 結言

本研究の目的は各国が南極においてどのような基地を建設しどのような工夫をして建設したかを調査し今後南極に人類の居住地を作る上での知見を得るため、どのような方法が有効であるのかを施工の観点だけでなく政治の観点からも検討することであった。そのため第2章でアメリカのAmundsen-Scott station、第3章でドイツのNeumayer station、第4章でイギリスのHalley stationについて調査し、第5章でそれらを横断的に分析し、得られた知見から第6章で南極でどのように人類が基地を作り進出していくのかを提案した。

第5章で得た知見及び提案の内容についてまとめる。

・南極の基地は雪の影響を少なくするために高床式の建物が建てられておりモジュールを集合させた基地が非常に画期的でありこれから多く取り入れられるであろう。また施設は国の機関が所有しているが設計や建設は民間企業に委託することが近年増えている。

本研究では資料集めに非常に苦労し実際イギリスの基地に関する情報などはイギリス本国の図書館に所蔵されている

ため閲覧することができずいくつか調べきれていない部分がある。また基地の詳細な図面や材料に関しては国家機密となっており専門機関に問い合わせても情報が得られなかったためその部分は今後の課題である。

文 献

- (1) Antarctic Photo Library-Images of Antarctica:
<https://photolibary.usap.gov/#1-1>(参照日 2020年12月7日)
- (2) Polarforschung 76 (1-2), 47 – 57, 2006 (erschienen 2007):
https://epic.awi.de/id/eprint/28578/1/Polarforsch2006_1-2_5.pdf(参照日 2021年1月7日)
- (3) Polarforschung 76 (1-2), 59 – 85, 2006 (erschienen 2007):
https://epic.awi.de/id/eprint/28579/1/Polarforsch2006_1-2_6.pdf(参照日 2021年1月8日)
- (4) AWI-Alfred-Wegener-Institute:
<https://www.awi.de/en/expedition/stations/neumayer-station-iii/construction-of-neumayer-station-iii.html>(参照日 2021年1月5日)
- (5) History of Halley (Station Z)-British Antarctic Survey:
<https://www.bas.ac.uk/about/about-bas/history/british-research-stations-and-refuges/halley-z/>(参照日 2021年1月12日)
- (6) History of Halley (Station Z)-British Antarctic Survey:
<https://www.bas.ac.uk/about/about-bas/history/british-research-stations-and-refuges/halley-z/>(参照日 2021年1月12日)
- (7) Hugh Broughton Architects:
<https://hbarchitects.co.uk/halley-vi-british-antarctic-research-station/>(参照日 2021年1月19日)
- (8) New York G. P. PUTNAM'S SONS:
Paul Siple 90°SOUTH p194-195
1959
- (9) Master Plan for the South Pole Redevelopment Project-Ferraro Choi:
<https://ferrarochoi.com/publications/master-plan-for-the-south-pole-redevelopment-project/>(参照日 2020年12月19日)
- (10) NM III Hydraulik-YouTube:
<https://www.awi.de/en/expedition/stations/neumayer-station-iii/construction-of-neumayer-station-iii.html>(2021/1/10閲覧)
- (11) Ruth Slavid:
Ice Station
Park Staion PARK BOOKS 2015