

風食微地形から推定したスピッツベルゲン島中央部 アドベントダーレンにおける冬季の卓越風向

メタデータ	言語: jpn 出版者: 明治大学史学地理学会 公開日: 2009-02-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 梅本, 亨 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/1626

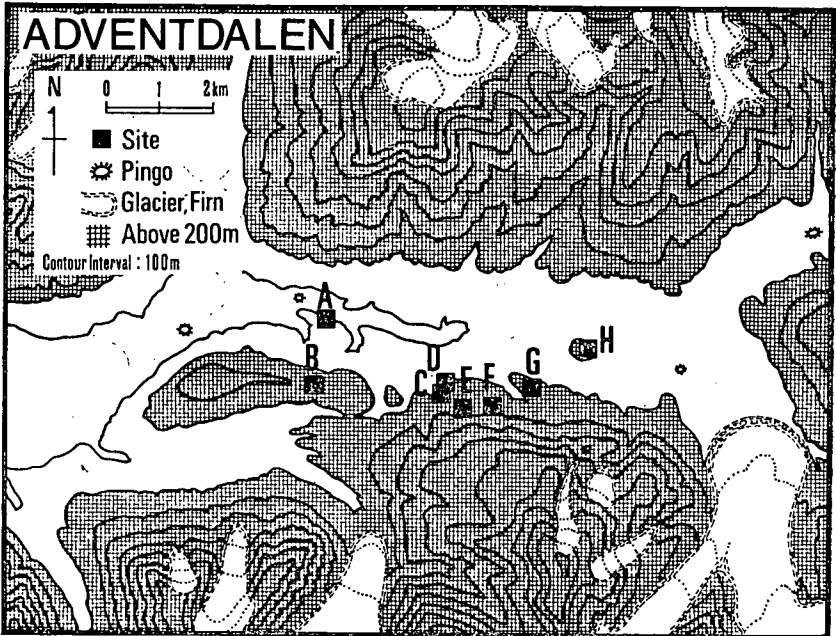
風食微地形から推定した スピッツベルゲン島中央部 アドベントダーレンに おける冬季の卓越風向

梅本 亨

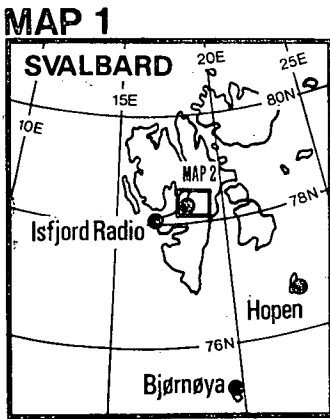
1. はじめに

スピッツベルゲン (Spitsbergen) は、グリーンランドの東方約 600km, ノルウェー本土最北端のノールカップ (Nordkapp) から北方約 800km の北極海に浮かぶ、スバルバル諸島 (Svalbard) 最大の島である。島の面積は約 4 万 km² で九州より若干広く、島の北東部を中心にかなりの領域が氷河に被われている。また、ノルウェー語のダーレンは谷を意味し、これが語尾に付く地名は、本論の調査地域であるアドベントダーレン (Adventdalen) のように、フィヨルドに続く氷食U字谷を意味することが多い。

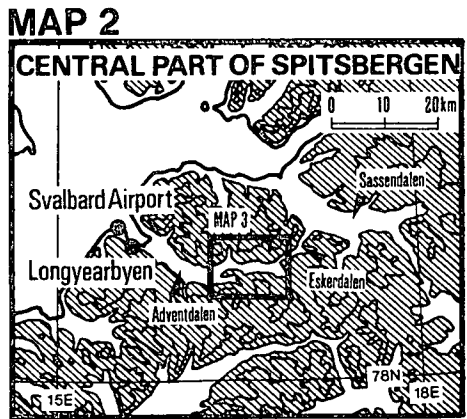
筆者は1992年度の「スバルバル地形調査隊 (代表：小嶋 尚教授)」に参加し、周氷河地形に関する調査の一環として、気象条件を中心とする調査に従事した。地理学においては、気象条件が作用して地表付近に目に見える永続的な現象を形成した場合、それを気候景観と呼んでいる。一定の方向からの強風が卓越するため樹木が曲がって成長してしまう偏形樹は、日本においても各地で観察できる。スピッツベルゲンは気候が寒冷なため、立木としての樹木は存在しない。しかし、植生被覆による保護を欠く裸地が広いので、地表面には温度変化や強風を反映した



MAP 3



MAP 1



MAP 2

図 1 調査地域の概念図

図中の黒四角は本文中の計測地点，黒丸は気象観測所の位置を示す
 Fig. 1: Study area

微小地形としての気候景観が発達していることがある。

寒冷地域の裸地において気候景観としての地形が存在し、それがどのような状態にあるかは、三つの要因に支配されている。すなわち(1)作用する気象条件が成立してからの経過時間、(2)作用する気象条件の強度、(3)形成されるべき気候景観を破壊する諸作用の強度である。

スピッツベルゲン中央部に位置するアドベントダーレン（標高は概ね100m以下）付近では、気候的雪線高度（降雪量と融雪量が等しくなる標高を連ねた線）は、およそ500mとなっている（Hisdal, 1985）。よって図1に示すように、かつてアドベントダーレンを埋めていた氷河は、谷の上流部に後退している。したがって、上記(1)の要因については、氷河後退によって谷底に裸地が出現してからの時間が、理論上の最大値となる。調査地域近傍においては、氷河後退に関する絶対年代を特定できる試料が、まだ発見されていない。しかし、スピッツベルゲン西部沿岸の海底に存在するモレーンの研究などから類推すれば、アドベントダーレンの氷河が後退してフィヨルド化し、さらにアイソスタティックな隆起によって陸化してからの経過時間は、1万年に近い数千年と思われる。更に、調査地域の東部は、現在の氷河末端から約2kmに位置するため、経過時間は必然的に東部ほど（上流ほど）短いことになる。

アドベントダーレンの地質は、概ね中生代のものである。調査地域には各所に露頭が存在するが、アンモナイトや二枚貝の化石を豊富に含む黒色の頁岩が特徴的な岩石となっている。頁岩層が露出している場所では、破碎されて長径数mmから1cm程度になったシャリシャリとした薄い小片が、あたかも雲母片を敷きつめたかのように地表を構成している。フレンチ（1984）によれば、周氷河環境において、凍結融解作用を主体とする機械的風化作用に対する抵抗性が最も小さい岩石は頁岩である。ここはその好例と言えよう。

この頁岩が、氷河によるティルや風成のレスなどに被われていなければ



写真 1 Site-A の全景

北西から撮影，右手に見える白線は約20mの巻尺

Photo 1: Site-A taken from the northwest

ば、風当りの強い場所では風食を受けている。このような場所で、かつての氷河が運搬してきた礫（石英質の砂岩で直径数 cm のチャート様の円礫を含むものが多い）が存在すると、礫の周囲に風食によるくぼみが形成されていることがある。調査地域においては、図 1 の Site-A～H にその存在を確認した。写真 1 は、Site-A を北西から眺めたもので、長径数十 cm 程度の礫が散在する様子を表わしている。スパールバルのように、定住集落がほとんどなく気象観測の密度が低い地域では、このような現象から局地的な気候条件を推定することができる。

本論の目的は、アドベントダーレンにおける微小な風食地形を気候景観と考え、その分布を調査することによって、氷河後退後にこの地域に卓越してきた持続的な強風の存在を推定することである。

2. 風食による微小な地表凹部の方向性と風向の推定

a) 礫の周囲の風食凹部の形態分類

アドベントダーレンの調査地域において、風食によると考えられる礫

Tail-type

Heart-type

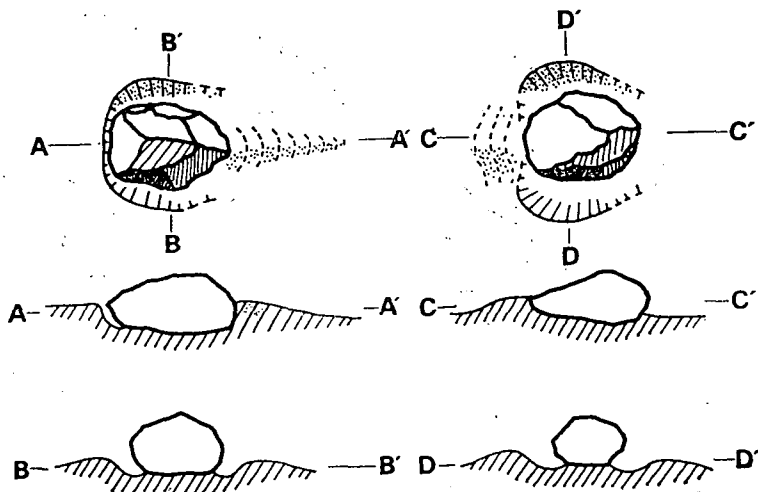


図 2 礫周囲の風食凹部の型を表す模式図

上段：平面図，中・下段：断面図

Fig. 2: Schematic illustration of the two types of blown-out hollows
Top: Plane view, Middle and Bottom: Cross sections

周囲の地表面の微小なくぼみ（以下「風食凹部」と記す）が存在する場所の条件は、かなり限定されている。筆者はアドベント川(Adventelva)の左岸（図1では谷の南半部に相当する）しか踏査していないが、右岸側でも類似の立地条件の場所には存在しているようである（調査隊の長谷川裕彦氏の観察による）。

図1に示した Site-A～H で観察できた風食凹部の形態は、大きく二つのパターンに分類することができる。図2はこれを示した模式図で、二つのパターンをそれぞれ有尾型 (Tail-type)、およびハート型 (Heart-type) と呼ぶことにする。これ以外に尾部を欠く馬蹄形の風食凹部も観察したが、両者の中間的なものと解釈した（この点については後述）。

有尾型は Site-A などでの典型的なものが観察できる。この型は、礫の一方に礫径とほぼ同程度の長さの細長い高まりをもっており、その反対



写真 2 有尾型の風食凹部 (Site-A)
礫の左の尾部にタバコの箱を載せてスケールとした
Photo 2: A blown-out hollow of the Tail-type (Site-A)

側は礫の大半を取り囲むような馬蹄形の浅いくぼみとなっている(写真2)。尾部の一部を崩してみたところ、頁岩の層理が確認できたので、この尾部は「吹き溜り」ではなく「削り浅し」であることが確実である。有尾型の場合、筆者は尾部が風下側に形成されると判断しているが、確実な根拠はない。

また、ハート型は Site-H などに典型的なものが見つかる。図2および写真3に示したように、礫の両側に浅いくぼみがハート型に形成されているものである。「記号としてのハート型」の上部のくびれの部分は若干盛り上がっていることが多く、この部分が削り残しとなっている。また「ハート型」下部の尖った部分は不明瞭に開いており、この特徴を重視すれば「両翼型」と表現した方が正確かも知れない。筆者は、くびれ部の削り残しが風下側に相当すると判断したが、有尾型と同じく確実な根拠はない。

風に対して障害物が存在すると、その風下側の風速が小さくなること

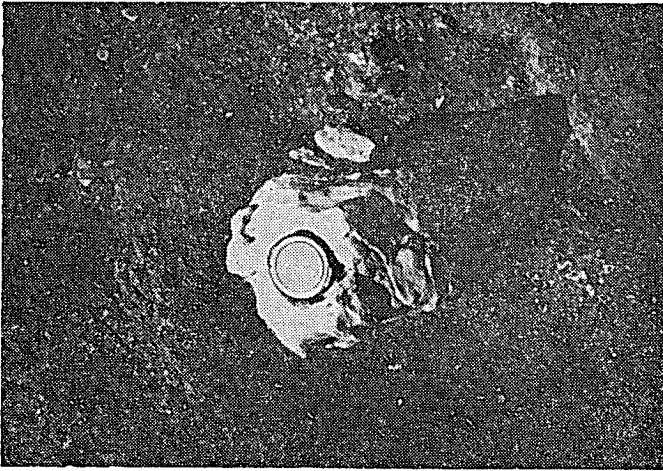


写真 3 ハート型の風食凹部 (Site-F)
Photo 3: A blown-out hollow of the Heart-type (Site-F)

はある程度は自明であるが、現地での観測または風洞実験や数値実験などで、この場合のメカニズムを確認することは困難である。なぜならば、強風は風食が起きるための必要条件ではあるが、必ずしも十分条件とはいえないからである。風食が効率よく起きるためには、風によって運搬され、礫および地表に衝突してその表面を削る粒子が必要である。本論の対象地域のように、破碎された頁岩の小礫が地表となっている場合や、レスなどの未固結堆積物が地表となっている場合における粒子の衝突効果は、短期間の現地観測による確認や実験による再現が難しい。いずれにせよ、侵食される対象の表面に与える運動エネルギーは、粒子が加わることでかなり大きくなることは確かである。スピッツベルゲンのような寒冷地では、侵食に荷担する粒子は砂粒や小礫だけではない。カユ・トリカル (1969) やフレンチ (1984) は、低温条件下で硬度を増した雪片、すなわち氷の結晶が削磨物質となることを指摘している。

また、礫の存在自体が、礫の下および礫近傍の頁岩に対して熱力学的な効果 (温度変化に対する物性の応答) や、降雨に対する遮蔽効果およ

び降雪時の吹き溜り効果（水分条件の差や積雪の存在による凍結融解作用への影響）などを通じて、風食凹部の形成に何らかの影響を及ぼしている可能性も否定できない。

しかしながら、強風が直接の形成要因と考えられる風食凹部の形態が、明確な方向性をもっていることだけは明らかである。本論では、風向を推定するときの前提条件として、図2に示した有尾型では図上で左から、ハート型では右から持続的な風が吹いてきたものとする。尾部を欠く馬蹄形のものや、形態の不明瞭なものは、二つの型のどちらか近いものに見立てて風向を判断する方針をとった。

b) 模式地における風向の判定

前節の後半でも触れたが、風食凹部の形態を決定する要因の一つとして、礫自体の形態や配置が大きな効果をもっている可能性がある。また、ソリフラクションが起きるような斜面では、風食凹部は観察できなかったが、Site-C や Site-H での地表面の傾斜は、急な部分では10°程度に達するため、斜面の表層物質移動によって巨礫の斜面上部側に有尾型の尾部に類似した高まりが存在する例が少数ながら見られた。ただし、風食凹部とは構造が異なるので区別できる。

そこで、有尾型の風食凹部が多数観察でき、かつ地表面が平坦な Site-A を模式地として、風食凹部の方向性がどの程度の定向性をもっているのかを確認することにした。Site-A はアドベント川の段丘崖付近にあり、風食によると思われる比高5mほどの小丘が散在する谷状の地形となっている。この小丘の頂部には風化して表面が赤色になった黑色泥岩があり、下部の黑色頁岩に連続している。谷底状の平坦部には多数の礫が存在し、風食凹部が形成されている。地形としては谷なので融雪期には流水による侵食の可能性があるため慎重に捜したが、少なくとも風向の判定を行った部分には、ガリー侵食を示すような構造は発見できなかった。

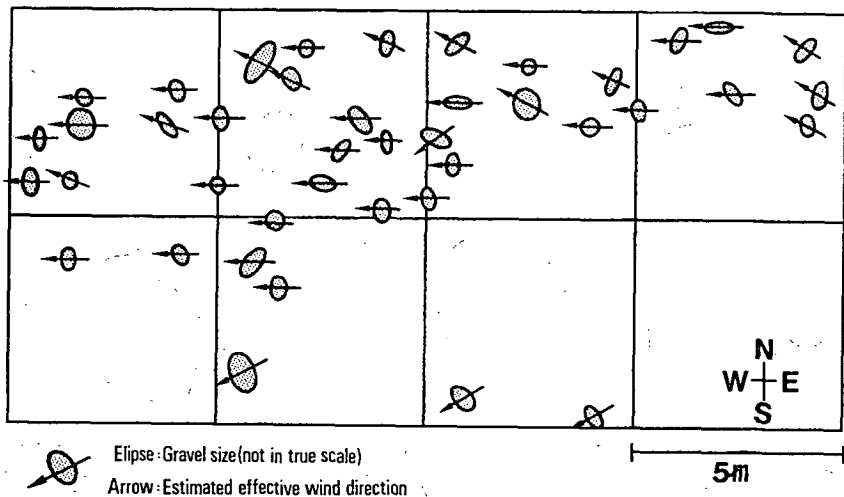


図 3 Site-A における長径 20cm 以上の礫の配置と推定風向
 Fig. 3: Distribution of gravels (with the size of 20cm or more)
 and estimated effective wind directions in the Site-A

ここにおいて、平坦地の面積がなるべく広くなるように東西 20m、南北 10m の方形区を設定し、そこに存在する礫を楕円形に見立て、その長径が 20cm 以上のもの全てを観察した (図 3)。長径 20cm 未満の小さい礫の周囲にも風食凹部はあるが、形態が不明瞭となる傾向が認められること、数が膨大になること、またこの付近に生息しているトナカイの活動による形態の攪乱も想定されることから無視した。図 3 に記入した楕円の形は、その位置にある礫の概形に対応しているが、長径自体は便宜的な表現にしてある。なお図 3 に記載した礫で最大のものの長径は 65cm であった。

長径すなわち礫の長軸方向と推定風向は、8 方位で計測した。図から明らかなように、平均的な推定風向はほぼ東で、ばらつきの幅は南北にそれぞれ 45° 程度である。礫の外形や長軸方向あるいは配置と、推定風向の間には特に明確な関係は認められないようである。

しかし、念のため表 1 にこの方形区内で計測した 42 個のデータを、礫

Directions of the Gravels and Estimated Effective Wind Direction for Site-A

Direction of the Long Axis of Gravels		NS	N45E	EW	N45W	(none)	Total
Estimated	NE	0	0	0	4	0	4
Effective	E	9	3	3	3	9	27
Wind Direction	SE	2	4	0	1	4	11
Total		11	7	3	8	13	42

表 1 Site-A における礫の方向と推定風向の計測結果
(Table 1)

の長軸方向と推定風向についてまとめてみた。すると、不明瞭ながら、礫の方向性と風食凹部による推定風向の間に、系統的な関係が見てとれることに気が付く。まず、42個中の27個については、風向は東と推定できたので、東風が卓越風であると仮定する。この東風に対して、長軸が直交する場合 (NS) と平行な場合 (EW) は、推定風向の最頻値が卓越風向に一致する。ところが、礫の長軸方向が卓越風向とずれる場合には、風食凹部から推定した風向は、礫の長軸に直交する方向にずれており、長軸方向が N45E (N45W) のときの推定風向は SE (NE) に最頻値をもってしまう。

この原因として推定されることは三つある。すなわち礫の方向性に惑わされた計測ミスの可能性、標本数が少ないための単なる偶然、そして礫の方向性が気流を変形させた可能性である。いずれにせよ、方向の計測は8方位で行っているので、平均推定風向の精度は低い。計測対象礫として、なるべく方向性のないもので、かつ風食凹部の形態の明確なものを複数選び、平均推定風向に対し、±1方向の誤差が存在することを認識すれば、調査地域全体の風系を推定する場合に大きな誤りが生ずることはないものと思われる。

3. アドベントダーレンにおける推定卓越風向分布

表 2 は、Site-A~H の各調査地における風食凹部の型 (hollow type)

と推定卓越風向 (wind direction) をまとめたものである。すでに記したように、各調査地での風向の推定は、長径 20cm 以上の礫の周囲に形成されている、明瞭な風食凹部の方向性を 8 方位で測定することによって行っている。表中の Site-E のように、場所によっては礫そのものが少ないため、風食凹部の形態が明確なサンプルは、1 個しか見つからないということもあった。サンプルが豊富な場所では、形態の明確なものという条件だけを設定して、任意に 10 個のサンプルについて方向を測定し、方位角の平均をとって 16 方位で表現してある。この方位を、その地点の風食に有効な卓越風向と見なすことにする。

地形の影響を受けない上空の風は、かなり広い領域にわたって一定の風向を示すことが普通であるが、地表付近では、細かい地形によって著しく風向が変化することがある。一般に、谷底の風向は谷自体の方向と同じになり易く、山地では稜線に直交する風が吹き易い。ここでは、各調査地の推定卓越風向と地形の方向性について検討する。

a) 尾根上の調査地 (Site-B, D~G)

Site-B はヤンソンハウゲン (Janssonhaugen) という標高 350m ほどの東西に長い山の稜線上にあり、標高は約 270m である。この山については崖以外の斜面および稜線を、ほぼくまなく調査したが、風食凹部はこの地点以外には発見できなかった。風食凹部を持つ礫は、稜線を 10m ほど北へ回り込んだ斜面に多いため、東からの気流が高度を変えずに稜線を迂回すれば、風向は南成分をもつことになる。また、Site-B の地表の傾斜は、 $10\sim 15^\circ$ とやや急な斜面になっている。ここでは、傾斜の方向と風食凹部の方向に一定の関係がないかについて詳しく調べたが、無関係と判断せざるをえなかった。

Site-D~G 付近には、南東一北西方向の深い谷に区切られる数列の尾根があって、南斜面は急崖、北斜面はやや緩やかな崖から成っている。Site-D, E では尾根の走行と推定風向はほぼ等しく、Site-F, G では直

Types of Blown-out Hollow and Estimated Effective Wind Direction

Observation Sites	Hollow Types	Wind Direction	Number of Samples
A (Flat Terrace)	Tail	E(4.3)	42
B (Ridge)	Tail	SE(6.1)	10
C (North-facing Slope)	No-tail	S(7.8)	10
D (Ridge)	Tail	SE(6.0)	2
E (Ridge)	No-tail	SE(-)	1
F (Ridge)	Heart	ENE(3.5)	10
G (Ridge)	Heart	NE(2.0)	6
H (NE-facing Slope)	Heart	NEN(0.7)	10
H (East-facing Slope)	Heart	NE(1.7)	10
H (SE-facing Slope)	Heart	NE(2.0)	10

(): Averaged wind direction given on the scale 0(N)-15(NWN).

表 2 風食凹部の型と推定風向
(Table 2)

交するかたちとなる。したがって、小さな尾根上では、地形の方向性と風食凹部の方向性の間には単純な関係は認められない。また、Site-Eに存在する唯一の風食凹部の形態は、尾部を欠く馬蹄形のくぼみだが方向性は明確である。この風食凹部は、形態としては尾部の不明瞭な有尾型によく似ているので、風上側に馬蹄形のくぼみができたものとして処理した。

b) 斜面上の調査地 (Site-C, H)

Site-Cは、横断面が非対称な尾根の北側斜面に位置する。この尾根の南側はほぼ垂直の崖となり、北側は風食による凹凸のある緩やかな斜面から凸型斜面となって急な崖で谷に落ち込む。稜線付近の緩やかな斜面は、景観としては模式地の Site-A とよく似ている。ここに散在する礫の風食凹部は、尾部を欠く馬蹄形のもものが大半を占める。推定風向は、平均値ではほぼ南である。これは、斜面の平均的な傾斜方向と同じだが、個々の礫の周囲の傾斜方向は、斜面に大きな凹凸があるため、必ずしも南ではない。推定風向は、この地点だけが著しく南に偏っているが、そ

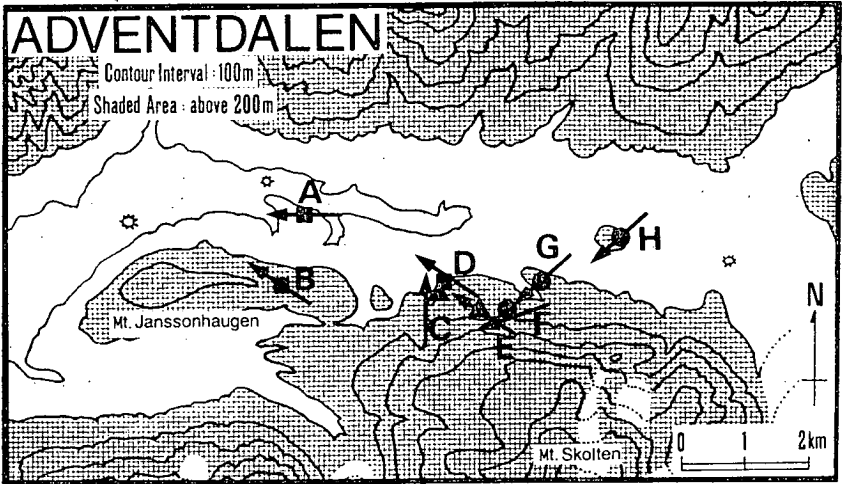


図 4 推定卓越風向の分布

黒四角：有尾型，黒丸：ハート型，黒三角：無尾型（馬蹄型）

Fig. 4: Distribution of the estimated effective wind direction

Square: Tail-type, Triangle: No tail-type, Circle: Heart-type

の理由はわからない。

Site-H 付近は、本論の調査対象域内で唯一の単独峰的な地形となっており、アドVENTダーレン谷底の段丘面上の平坦地から、比高約 100m で突出する饅頭型の円丘である。周囲に障害物が存在しないので、卓越風向を推定するには最もよい地形的条件を備えている。この円丘の頂部はかなり広く、礫も多数存在するが、風食凹部は丘の東半部の頂部直下にしか認められない。この部分の風食凹部の方向性は、斜面方位によって系統的に異なる傾向が見られる。そこで、北東斜面、東斜面、南東斜面を別個の調査地として扱い、それぞれについて推定風向を求めた(表 2)。その結果、北東斜面から時計回りに南東斜面に移動すると、推定風向も北北東から時計回りに北東に変化するように見える。このことから、Site-H 付近の卓越風向は基本的には北東であり、気流は円丘を迂回するかたちになっていることが推定できる。

以上の卓越風向推定結果を、図4にまとめた。この図において、推定風向が実際の卓越風向を表わす能力が高いのは、平坦な Site-A と円丘の Site-H の二地点であろう。アドベントダーレンは、円丘の東で二股になっており、北東側の分岐は北東—南西方向の風の回廊となるエスカ—ダーレン (Esker dalen) を経て、ほぼ東西の走行をもつ広い谷であるサッセンダーレン (Sassendalen) に連結している (谷の位置と名称は図1参照)。また、南東の分岐は、すぐに大きな氷河となって山地に消える。したがって、アドベントダーレン付近の地上風系は、サッセンダーレン方面からエスカ—ダーレンを通して、北東の風が吹き込み、スコ—ールテン山 (Mt. Skolten) にぶつかって東に風向きを変えて、谷の下流へ向かうものと推定できる。

4. 有尾型とハート型の違いは何を意味するか

アドベントダーレンの氷河が、現在の位置付近まで後退してからの経過時間は、前述のように年代決定に使える試料が得られていないため、今のところ不明である。したがって、本論で扱った風食凹部を形成した強風が、氷河後退後から現在に至る数千年間の、どの時期に卓越したのかも不明である。しかし、風食凹部の形態の型とその分布に注目すると、特定の傾向が存在することに気が付く。すなわち、有尾型は Site-A などの下流側、ハート型は Site-H などの上流側に分布しているということである。

アドベントダーレンの調査地域における最も大きな環境の変化は、徐々に後退していく氷河の存在そのものである。ある地点の上を、後退する氷河末端が通過した直後は、かなり湿潤な環境にあると想像できるので、そこには風食凹部は形成され得ない。氷河末端がさらに後退し、その地点が乾燥してきた時点において、風食に対する感受性が高まる。風食環境下に置かれた礫の周囲に、肉眼で認識可能な風食凹部が形成され



写真 4 ハート型風食凹部の軸に載る礫（風上側から撮影，Site-H）
Photo 4: A grave on the narrow ridge of the Heart-type hollow
Taken from the windward direction (Site-H)

るのに必要な時間は、未知数が多すぎて推定できない。風食自体はかなり長期にわたって継続したらしく、礫自体が侵食され、砂岩中の硬い小礫が磨き出されて両側の凹部に数個ずつ落下していることが多い。

しかし、氷河の後退がほぼ一定の速度で進行し、現在の末端が疑似的な平衡状態（すなわち一時的に後退が停止している状態）だと仮定すれば、風食を受けた経過時間は、氷河末端からの距離に比例する。各調査地の地形条件は異なるが、地表の状態は風化した頁岩および泥岩が露出するという点で共通しているので、風食凹部の形態が、風食を受けた経過時間を反映している可能性はある。

現地での観察によると、礫の周囲に明確な構造をもつ風食凹部のなかには、削り残しの細い高まりの上に、あやういバランスで礫を載せているものも多い。写真4は、Site-Hにある長径20cmの砂岩を示しており、典型的なハート型風食凹部の風上側から撮影したものである。風上側の礫下部の高まりは、すでに礫中央部付近までえぐられており、風食

が進行すれば礫は風上側に「おじぎ」をする形で傾くはずである。これと同じことが、風食凹部の方向と傾斜方向が異なる斜面で起きると、礫は「おじぎ」をする代わりに、斜面をスライドするかも知れない。礫がうまい具合に「おじぎ」をすると、風下側の削り残し部は、有尾型の尾部に類似の構造となる。

風食凹部の形態が、ハート型から有尾型の馬蹄形に移行する可能性も「おじぎ」が起きれば説明できる。ハート型にまで発達した凹部の縁は気流と平行なので、風食はハート型の風下側の膨らみに集中する。さらに、「おじぎ」によって、礫は見かけの高さが大きくなるので、気流の変形はより風下側遠方まで及ぶようになる。このようにして、ハート型の膨らみは風下側で開き、礫から見て相対的に高さを増した風下側の削り残しが尾部となって、有尾型に移行するのではないだろうか。この場合の、礫の回りの気流の変形状況は、日本の積雪山地稜線付近の礫や樹木の風下側に尾を引く、削り残しによる積雪の「吹き溜り」と同じである。

うまく説明できないのは、有尾型の馬蹄形凹部の風上側のシャープな縁の形成メカニズムである。これは、Site-CやEに見られる無尾型にもある構造なので、「おじぎ」とは無関係な、時間が経過すれば自然にできるものなのかも知れない。

以上を、図5に風食凹部の仮説的な発達過程として模式的に表わした。風食作用が持続する環境が成立した直後から、有尾型の風食凹部が形成されるまでを、平面図および風向に直交する方向(B-B')から見た側面図において、図上で右から左に向かって風が吹いているものとして示している。2では、礫の両側を迂回する気流によって浅いくぼみが形成されている。このくぼみは徐々に風下側に発達し、削り残しが相対的に高まると、ハート型を呈するようになる(4)。その後は、削り残しは明確なリッジに発達するが、「おじぎ」が起きれば特に明確な尾部が

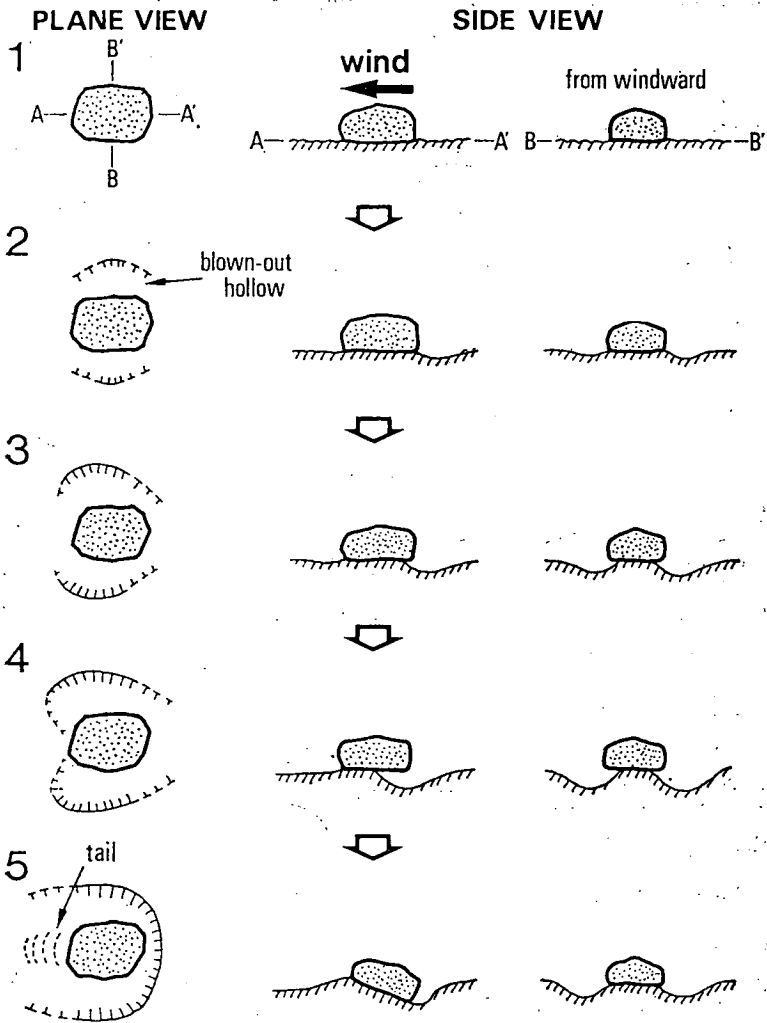


図 5 礫の周囲の風食凹部発達過程 (模式図)

Fig. 5: A hypothetical evolution of blown-out hollow around a gravel

形成される。

この仮説の最大の欠点は、時間スケールが不明瞭なことである。今のところ、約6km程の距離の差を、時間の経過に置き換えて想像した単

なるモデルに過ぎない。この経過時間が、 10^2 年オーダーの時間に対応するのか、あるいは 10^8 年オーダーなのかについては、今後の地形学的調査の進展を待つほかに有効な手段はない。これ以外に、モデルの妥当性を検討する手段は、他地域における既往の研究例との比較であるが、今後の課題としたい。

5. 現在の気象データからの検討

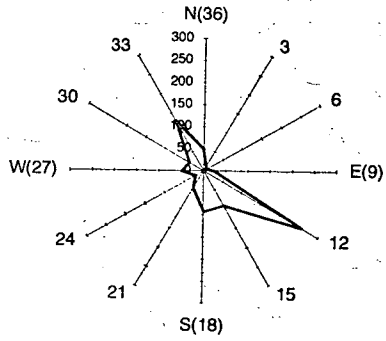
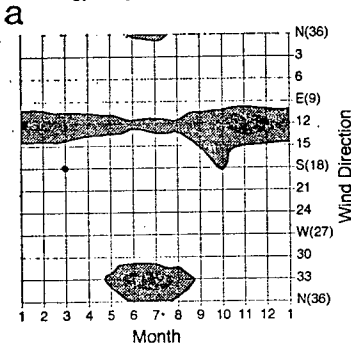
a) 広域の風系

前章までの議論は、氷河後退後の大規模な風系に、大きな変化がないことを前提としている。スバルバル付近の大規模な風系は、北大西洋から北極海に至る領域の海陸分布や、グリーンランドの氷床の存在などに支配されているが、それらには少なくとも過去数千年間は大きな変化はなかったと考えられる。もう少し小さな空間スケールでは、地形の変化が局地的な風系に影響を及ぼす。アドベントダーレンでは、谷の方向といった大きなスケールの地形が、氷河後退後の数千年間には基本的に変化していないことから、谷全体の風系を規定する要因は、現在とほぼ同じであったと考える。ここでは、現在の気象データを用いて、風食に関与してきたと考えられる東成分をもつ卓越風の頻度や季節的な特徴について検討する。

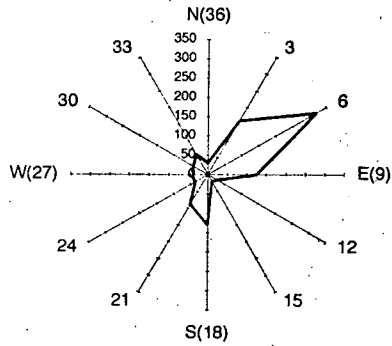
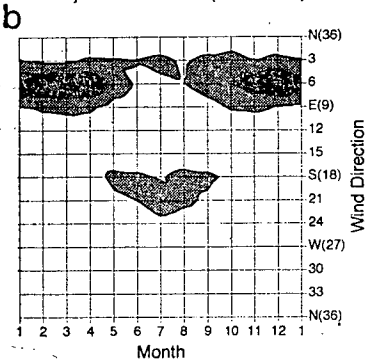
スバルバルには、気象観測を専門業務とする気象観測所はない。定期的に信頼できる気象観測を実施し、データを公開しているのは、有人の無線局と定期便が発着する飛行場だけである。これらのデータは、ノルウェー気象研究所 (Det Norske Meteorologiske Institutt) によって集計され、「ノルウェー気象年報 (Norsk Meteorologisk Årbok)」として公刊されている。

本論では、この気象データを使用するが、国際規約に基づく風の観測については、一般にあまり良く知られていないので、簡単な解説をして

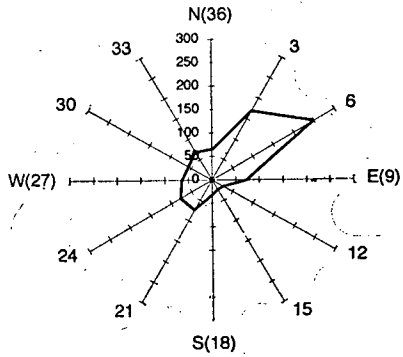
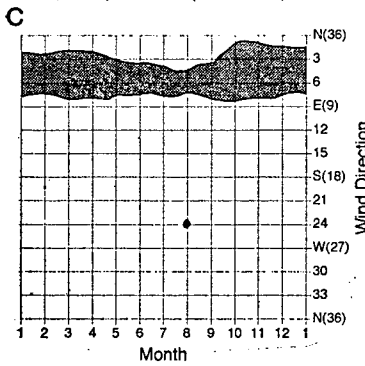
Longyearbyen : Wind(1968-1976)



Isfjord Radio : Wind(1968-1975)



Hopen : Wind(1968-1977)



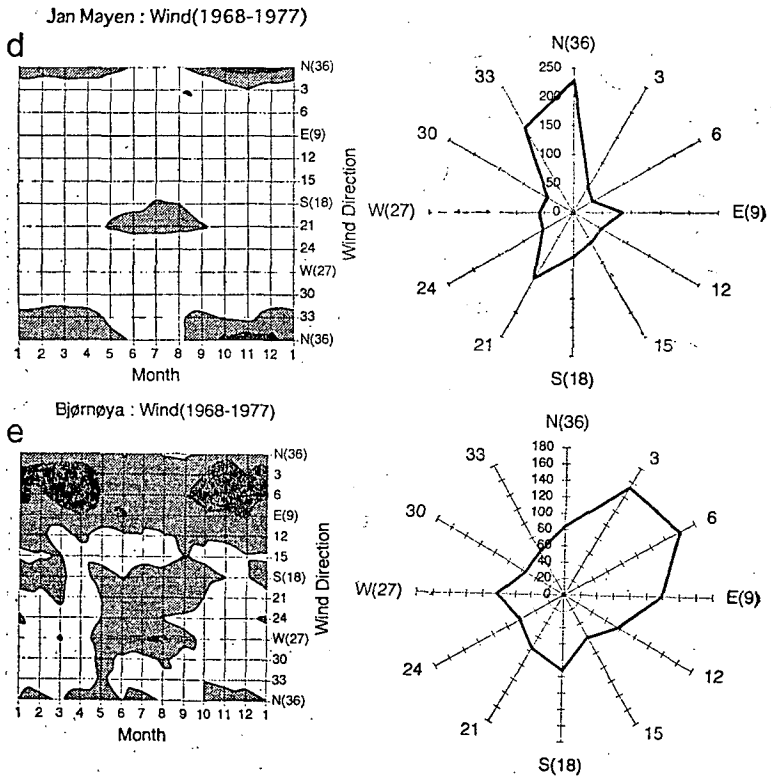


図 6 風向別の風の出現頻度 (1日3回の観測値の集計)
 アイソプレス (左列): 等値線間隔は100, ただし e のベア島は50
 風配図 (右列): 静穏率は省略した
 Fig. 6: Frequency of the observed wind direction (three times a day)
 Isopleth (left): Contour intervals are 100 except Bjørnøya (50)
 Wind rose diagram (right): Percentages of calm rate are omitted
 (Data: Den Norske Meteorologiske Årbok)

おく。特定時刻の風速は、10分前からその時刻までの平均風速のことであり、風速計の風杯またはプロペラの回転数から計算するものである。よって、風圧計などで求めた瞬間風速とは異なる (当然、10分間の最大瞬間風速よりかなり小さい値となる)。また、風速計は地表から約10mの高度に設置されるので、摩擦の大きい地表付近より風速は大きくなる。さらに、ノルウェー気象研究所は、集計した風の速さの単位に伝統

的なビューフォート風力階級を使用しているのでメートル法への換算はできない。この風力階級は、今でも船舶などで目視観測に使用されているが、スバルバルの観測所は、全て通常の風速計を使用して観測を行っている。本論で使用した観測所の位置は、北緯70度56分、西経8度40分に位置するヤンマイエン島 (Jan Mayen) 無線局以外は、図1に記入しておいた。

図6は、5地点の数年間の風向データをまとめたものである。右列の放射状グラフは、1日に3回観測されている風速を、36方位ごとに集計して観測回数で表示したものである。これに無風状態の回数を表示すれば、一般に風配図と呼ばれる形式になる。また、左列は縦軸に風向を36方位でとり、横軸に月をとって、地名の後に記した期間の各月における、観測された風向の回数を合計し、観測頻度100回ごとに等値線を引いたものである (ベア島 (Bjørnøya) のみ50回間隔)。

図6のaに示したアドベントダーレンの下流部に位置するロングイヤービエン (Longyearbyen) では、南東の風が卓越し、その傾向はほぼ一年中持続するが、夏季には北西の頻度が高くなる。この風向は、アドベントダーレンの谷の方向に完全に一致している。また、bのイスフィヨール無線局 (Isfjord Radio) では、夏季以外に北東の風が卓越し、やはりフィヨルドの谷の方向に一致している。cのホーベン島 (Hopen) の無線局でも同様で、北東の風が、ほぼ一年中卓越している。この島は、北東一南西方向に約30kmにわたってまっすぐに伸びる、奇妙に細長い形をしている。標高は300m程度あり、観測所は島の南部東岸の鞍部付近に位置する。おそらく、細長い島の外形が東よりの風の方向を、北東に固定する役割をはたしていると思われる。一方、スバルバルとグリーンランドおよびアイスランドの中間地点に位置する、図6dのヤンマイエン島 (ここも無線局) では、夏季以外に北風が卓越する。また、平坦なベア島の北部海岸にある無線局 (図6e) は、地形の影響はほと

んど無いものと思われるが、夏季以外には北東の風が卓越している。

以上のように、スバルバル付近では夏季以外のほとんどの期間に、東成分をもった風が卓越しており、南西に遠く離れたヤンマイエン島では北風が卓越している。この卓越風向分布は、夏季以外のこの海域ではごく自然なものであるが、古典的なモデルによる極偏東風では説明できない。偏東風をもたらすような、持続的地上気圧システムは北極海には存在しないからである。

冬季を中心とする時期の北極圏下層大気には、三つの大きな気圧システムが存在する。アリューシャンおよびアイスランドの低圧部とシベリアの高圧部である。平均的な気圧配置は次のようになる。アイスランド南西方には、いわゆるアイスランド低気圧が存在し、グリーンランドの氷床上は高圧部となる。そして、副次的な低圧部がノルウェー北部海岸とスバルバルの中間に存在する。したがって、スバルバルは、低圧部の北側に位置するので東風が卓越し、ヤンマイエン島では、この低圧部とグリーンランドの高圧部の中間を吹く強い北風が卓越することになる。また、ベア島南方は、多数の低気圧が発生通過する領域でもある (Keegan, 1958; Ledrew, 1988) ため、ベア島の風向が定まらないのは、単に地形が平坦なためだけではないかも知れない。

b) アドベントダーレン付近の風と気温

上述のとおり、風食凹部から推定した卓越風向は、冬季の広域な風系の卓越風向に一致することが明らかとなった。ここでは、調査地域に近いロングイヤービエンの北西にあるスバルバル空港 (Svalbard Airport) の1978年の日データを使用して、冬季と夏季の気象条件について、簡単な検討を行なう。

図7は、日最大風速のビューフォート風力階級別のヒストグラムである。最頻値は、冬季(図7上)は風力5、夏季(下)は風力4にあり、明らかに冬季の方が風が強い。この値も10分間平均風速からの換算なの

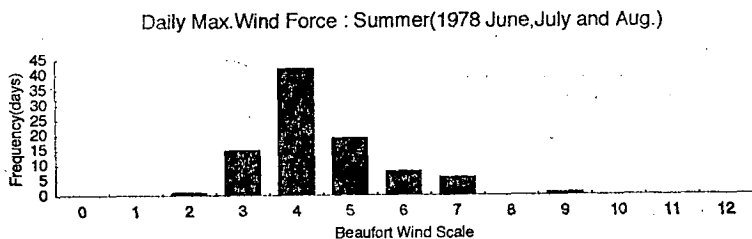
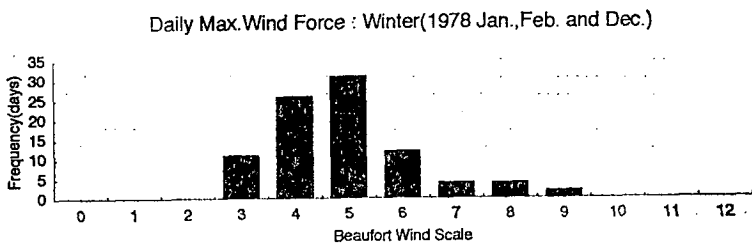


図 7 スバルバル空港における日最大風力の出現頻度
 上段：冬季（1978年1, 2, 12月），下段：夏季（1978年6, 7, 8月）
 Fig. 7: Histogram of daily maximum wind force at Svalbard Airport
 (Data: Den Norske Meteorologiske Årbok)

で、風の息を考慮に入れると、風力5はかなりの強風といえる。参考までに記すと、冬の関東平野の乾燥した畑地で、風による土壌侵食が発生するのは風力4程度からである。また、風力6で電線が鳴り、風力7では風上への歩行が困難になるとされている。

最後に、毎日の風と気温の関係について検討してみる。第2章に記したように、低温下では硬度を増した雪片が風食に関係するとされている。一般に、強風時には接地気層が破壊されるので地上気温はあまり低下しない。図8の日最大風力の時系列と、図9の日最高、最低地上気温の時系列を比較すると、強風時には相対的に気温が高いことが明らかである。例えば、1月15日前後は、風力8という台風なみの強風が記録されているが、気温はその前後に比べて10~15°Cも高くなっている。しかし、日最高気温も氷点下10°C程度なので、温暖というにはあたらないであろう。

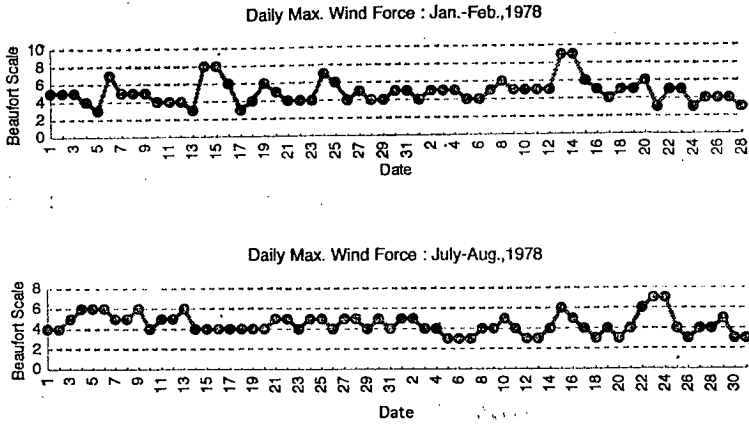


図 8 スバルバル空港における日最大風力の時系列
 上段：冬季（1978年1, 2月），下段：夏季（1978年7, 8月）
 Fig. 8: Time series of daily maximum wind force at Svalbard Airport
 (Data: Den Norske Meteorologiske Årbok)

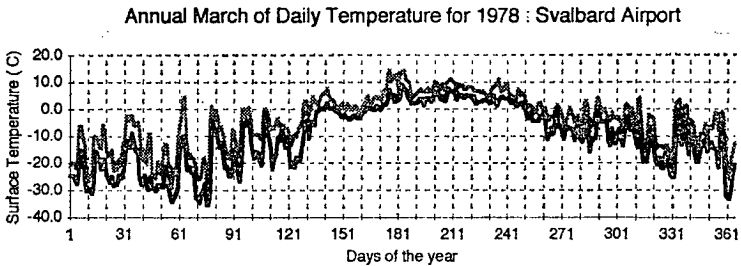


図 9 スバルバル空港における地上気温の年変化（1978年）
 灰色線：日最高気温，黒線：日最低気温
 Fig. 9: Annual march of daily surface temperature at Svalbard Airport
 Gray line: Daily maximum surface temperature
 Black line: Daily minimum surface temperature
 (Data: Den Norske Meteorologiske Årbok)

以上のように、アドベントダーレンに見られる風食凹部を形成した卓越風向は、現在の夏季以外のほぼ全季節に共通する東寄りの卓越風向に一致していることが確認できた。

6. ま と め

スピッツベルゲン島中央部の大規模な氷食谷である、アドベントダーレンにおいて、かつての氷河が運搬してきた礫の周囲に見られる、風食による地表の吹き払いによって生じた凹部（風食凹部）の方向性を計測した。その結果をもとに、本論では以下のことを議論した。

(1) アドベントダーレン中流部の少なくとも左岸においては、風食凹部は、頁岩層が露出した乾燥した風当りの強い場所に存在する。

(2) 風食凹部の構造は二つのタイプに分類できる。風上側から礫を取り囲む馬蹄型の凹部があり、風下側が尾を引くように盛り上がるもの（有尾型）と、礫を中心とする凹部全体の形状が、風下側がくびれたハート状のもの（ハート型）である。

(3) 風食凹部から推定した、アドベントダーレンの卓越風は、概ね東風であり、谷の方向と一致している。

(4) 有尾型の風食凹部は、ハート型よりも現在の氷河末端から遠い場所に分布することから、風食の影響下にあった時間が長いと考えられる。よって、風食凹部の型の相違は、風食構造の発達段階の差を示すものではないかとの考えを提示した。

(5) 最後に、現在の気象資料を用いて、風食凹部の方向性から推定した卓越風向の妥当性を検討するとともに、それが主として冬季のスパール諸島付近の大規模な風系を反映するものであることを示した。

謝 辞

スパールパル調査の機会を与えてくださった明治大学の小嶋 尚教授、ならびに現地において、風食構造の存在を御教示くださった北海道大学の平川一臣教授に厚くお礼申し上げます。

尚、本論の現地調査は、1992年度文部省科学研究費補助金（国際学術

研究)「北極圏スバルバル諸島における周氷河地形の形成機構」(代表:小嶋 尚, 課題番号02041081)によって行われた。

参考文献

- カユ・トリカル, 1969:『気候地形学序説』, 谷津栄寿・照田宥子訳, 創造社, 307pp.
(Cailleux, A. et J. Tricart, 1962: Introduction a la Gemorphologie Climatique.)
- フレンチ, 1984:『周氷河環境』, 小野有五訳, 古今書院, 411pp.
(French, H.M., 1976: The Periglacial Environment.)
- Hisdal, V., 1985: Geography of Svalbard. (Second edition)
Norsk Polarinstitut, Oslo. 75pp.
- Keegan, T.J., 1958: Arctic Synoptic Activity in Winter.
Journal of Meteorology, Vol. 15, pp.513-521.
- Ledrew, E.F., 1988: Development Processes for Five Depression Systems within the Polar Basin.
Journal of Climatology, Vol. 8, pp.125-153.

(明治大学文学部専任講師)

**Estimation of Prevailing Local Wind Direction
by Means of Measuring the Direction of Blown-out
Hollows around Erratic Gravels in Adventdalen,
the Central Part of Spitsbergen**

UMEMOTO Tohru

The directions of blown-out hollows around erratic gravels were to be measured estimating the long-term lasting surface wind field in Adventdalen, the central part of Spitsbergen in Svalbard. The study area is situated in the upper reach of Adventelva (Advent River) where the present terminal of the glacier exists (Fig. 1). Eight sites were found out where the marked structures of blown-out hollows could be observed under the condition of wind erosion (Photo 1).

The ground surface of those sites is covered with small flakes of shale or mudstone. Laying upon this surface, two types of blown-out hollows were formed around gravels (Fig. 2 and Photo 2). The Tail-type has a U-shaped hollow in the windward side and a tail-like narrow ridge in the lee side. And the Heart-type has two shallow hollows like wings by the both sides of a gravel (Photo 3). In this case, the bottom of the heart-shape is the windward side.

We think that the difference between the Tail-type and the Heart-type shows the evolutionary stages of the making process

of blown-out hollows, because the locations of the Heart-type are near to the terminal of the present glacier whereas those of Tail-type are far from it. Duration of exposure with the strong wind must be longer in the case of the Tail-type than in the case of the Heart-type. Figure 5 shows this hypothesis schematically.

Site-A is the only one located on the flat river terrace. Therefore this has the best setting for estimating wind directions. We set a quadrat and measured the long axes of all gravels (with the size of 20cm or more) and estimated what directions of winds have been effective (Fig. 3 and Table 1). This measurement suggests that we can represent the effective wind by the eight main directions. Figure 4 shows the distribution of the estimated wind directions. In the valley of Adventelva, the wind flows from Eskerdalen (northeast branch of the valley) and changes its direction clockwise to fit the same direction of the valley itself. Then it would flow down the river to the end of the valley toward Isfjord.

Figure 6 shows the recent wind condition around Svalbard. Every station indicates very stable wind direction throughout the year except summer. The large Icelandic Low is the action center around here. This gigantic low is, however, just an image of average. Cyclones frequently pass by or stagnate to the south of Svalbard. This makes the easterly wind prevail over Spitsbergen. The topography of Greenland fixes this large scale condition. And local landform such as the direction of valleys locks up the local wind field. This situation may have been continued in the post-glacial period.