HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海岸砂丘の微地形変化と植物指標
Author(s)	小林, 佐保里; 東, 三郎
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 47(1), 191-213
Issue Date	1990-02
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21320
Type	bulletin (article)
File Information	47(1)_P191-213.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

海岸砂丘の微地形変化と植物指標

小林佐保里*　東　三郎**

The Use of Plant Indicators for Chronological Analysis of Coastal Dune Micro-relief

By

Saori KOBAYASHI* and Saburo HIGASHI**

要　旨

筆者らは，海岸砂丘の微地形変化の把握に，植物指標の利用が有効であると考え，砂草とくにハマニンニクに焦点をあて，指標価値の検討を行った。

1）1973・74年に採砂事業が行われた北海道檜山郡江差町砂坂では，次第に裸地が拡大しており，飛砂の堆積しやすい場所はハマナスが衰退し，ハマニンニクの侵入が著しい。

2）ハマニンニクの地下部の形態を観察し，砂丘断面を設け，地下茎の分布を調べた。

3）埋砂実験の結果，ハマニンニクの茎は一度に20 cmの厚さの被砂の場合も，枯死することなく葉を展開している。砂に埋没した茎からは，不定根が発生し，堆砂はかえってプロット周囲の地下茎の伸長を促している。

4）ハマニンニクの前年の株の残骸や，地下茎の埋没している深さを，砂の層構成と照合することにより，最近の堆砂現象についての推測を行った。

5）石狩湾新港では，埠頭の建設後に汀線が毎年前進している。新たに形成された砂地に侵入したハマニンニクの分布，生育状態，地下茎の形態から，砂地の年次別拡大状況を推定した。以上のことから，ハマニンニクが砂丘の微地形変化の指標として，優れていることが明らかとなった。

キーワード：　海岸砂丘，地表変動，指標植物，ハマニンニク，地下茎。

1989年9月30日受理 Received September 30, 1989.

* 農水省森林総合研究所環境生理研究室
Ecophysiology Laboratory, Forestry and Forest Products Research Institute

** 森林空間研究所主宰
Laboratory of Forest Space

I. 研究目的

北海道の海岸砂丘は，開拓以前にはカシワ（*Quercus dentata*）・ミズナラ（*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*）・トドマツ（*Abies sachalinensis*）の天然林に覆われていた。沿岸漁業の発達により海岸に集落が発達すると，天然林は薪炭材や建築材を得るために伐採され，急速に変貌した。そして飛砂・暴風が農地や集落を襲うようになり，生活環境は著しく悪化した。

第二次大戦後になって全道的な海岸線緑化事業が始まり，荒廃砂丘は草本・木本で被覆され，飛砂発生は抑えられた。しかしながら現在でも，砂丘の存在と人間の生産活動とは，完全に切り離されたわけではなく，小はハマボウフウの採取から，大は採砂事業に至るまで，砂丘の微地形と植生の攪乱は，引続き行われている。気象，土壌条件の厳しい環境に，集団の力で対抗している砂丘の植物群落，特に海岸の人工林は，一ケ所が破壊されると網の目がほどけるように，全体に被害が波及する危険がある。したがって，砂丘に荒廃の兆しが再び現れたときには，いち早く察知して，荒廃防止の手段をとらなければならない。

ところで，地表面の動態を示す指標には，物理的指標と生物的指標の二つがある。物理的指標は点的・瞬間的な情報しか得られないのに対し，生物的指標としての植物は，その場に持続して生活していることから，歴史的な情報が得られ，時系列的な環境の変遷を知るのに有効であると思われる。

筆者らは，樹木の異常年輪や変異樹形をもとに，地すべり土塊の動きを推測したり，扇状地の木本侵入年代によって，渓流の土石移動について年代学的考察を加えるなど，植物指標による環境の動態解析を行ってきた（東　1979）ことから，海岸砂丘についてもその方法を適用できるものと考えられた。

海岸砂丘においては，恒常的に砂の移動している部分が多く，風向・風速は絶えず変化し，様々な微地形を呈している。したがって，物理的指標だけで地表の動態を解析することは困難である。

植物生態学の分野では，植物を用いて砂丘の環境を把握しようとする試みが，1960年代から盛んに行われた。延原（1965）は，砂丘植物を好砂性と生活型により分類し，砂の移動の多少により，それぞれのグループの種類数百分率に，その差がみられるとしている。矢野（1962）は，鳥取砂丘において，飛砂による埋没に適応して発達した砂丘植物の根系に注目し，根の深さ・広がり・形態・無性繁殖を各々の種について調べ，タイプ分けを行った。そして，砂丘が安定するにつれ，群落の構成要素が複雑になり，根系の分布は浅く狭くなることを明らかにしている。

しかしながら，これまでの研究は，植物の生育に影響を及ぼす砂の移動のみを追求しており，砂丘の動態を解析するための，指標的観点に立ったものではない。本来指標とは，より一

般的で単純なものが好ましく，客観的な時間情報の得られるものが要求される。そこで本研究では，飛砂による埋没に強い抵抗性を持ち，さらにはその埋没現象がむしろ生育の必須条件になっている砂草を対象とし，特にハマニンニク（*Elymus mollis*）に焦点をあて，観察と実験により，その生態的特徴を明らかにし，指標的価値の有無を検討することにした。

II. 研 究 方 法

1. 研究対象地

北海道の日本海沿岸では，かつて水産業が栄えていた頃に，天然林がおおかた伐採され，山火事の被害も加わって，かつての面影をとどめていない。しかもこの地方は冬の季節風が強く，森林の自然回復が期待できないばかりか，人為的な植生導入にも多くの問題がある。本研究はこのような海岸林造成地のうち，檜山支庁管内江差町砂坂と，石狩支庁管内石狩町花畔を対象に行なわれた（図—1）。

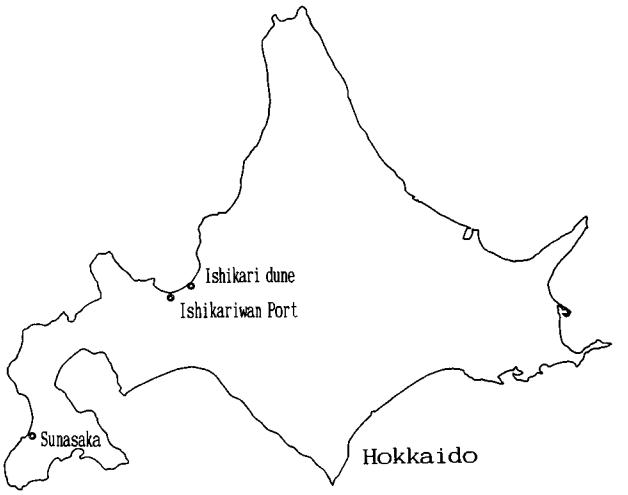

Fig. 1. Locations of study sites.

江差町砂坂では，1935年以降50余年にわたって，クロマツを主とする海岸林造成が続けられている。クロマツは一応成林し，天然更新と郷土樹種導入の時期を迎えている。しかしその一方で，人為的攪乱による森林破壊も起きている。

石狩町花畔では，1973年から小樽市との間にまたがって，石狩湾新港が建設中である。工事に伴い天然林が伐開されたり，汀線が変化するなど，海岸の環境は激しく変化している。

2. 研究対象植物

北海道の海岸砂地では，植生帯の最前線に，イネ科の多年生草本ハマニンニクが出現する。この植物は地下茎を持ち，栄養繁殖と種子による繁殖の両方を行う。飛砂に埋没すると，

不定根を出し，地下茎を伸ばして，再び地上にシュートを展開する(小林・東　1985)。この性質を利用して，古くから海岸砂防の静砂工材料に用いられており，分布や増殖法については，かなり明らかにされている（富樫　1939，伊藤・豊島　1953)。

砂に埋没したハマニンニクが地下茎を伸ばす様子は，河畔や渓床堆積地などの変動の激しい場所に定着するヤナギ類が，土砂に埋没して不定根を出すのに似ている。筆者らはこれにヒントを得て，ハマニンニクの地下茎から，堆砂現象に関する時間情報が得られるのではないかと考えた。

そこで，まず砂丘の微地形変化に伴って，ハマニンニクの生育域がどのように変わるかを調べた。次に埋砂実験を行って，堆砂に対するハマニンニクの反応を確かめた。そして野外におけるハマニンニクの生育状態と，最近の飛砂・堆砂現象とを照合してみた。その後に実際に指標として現場へ適用し，指標的価値の検討を行った。

III.　砂丘の微地形変化と植生

1.　砂坂砂丘の地形と植生

図―2に，調査地の平面図を示す。この砂丘は稜線の高さが約30mで，汀線にほぼ平行である。砂丘の南側は国有林で，地形は全く平坦である。1973・74年に，砂丘の海側脚部で採砂事業が行われ(採砂量は不明)，そのために図中に表されているような崖が形成された。その後，砂が崩れて，傾斜角は小さくなったが，まだ砂の移動は続いている。

図―2中に示した測線a～gで縦断測量を行ない，あわせて植生分布を調べた。その結果を図―3に示す。a線とb線は旧採砂地を通り，その内陸部に達する線である。a線の砂丘前面は，裸地状の緩斜面になっており，崖には植物の根系が露出している。植生は，ハマニンニクがまばらに生育しているのみである。その後方には，コウボウムギ（*Carex kobomugi*）・ケカモノハシ（*Ischaemum anthephoroides*）・ハマエンドウ（*Lathyrus japonicus*）・オオイタドリ（*Polygonum sachalinense*）が出現し，ヤマブドウ（*Vitis coignetiae*），ハマナス（*Rosa rugosa*）の群落が見られる。内陸部はクマイザサ（*Sasa senanensis*）に占められている。a線の北側にある風盆は，直径12m，深さ4.5m，底の直径9mで，摺鉢状を呈している。風盆の底には，シロヨモギやハマボウフウがごくまばらに生育している。

b線ではa線同様，砂丘前面は裸地になっており，崖には厚さ15cmの火山灰層が露出している。この火山灰は大島の噴火に由来するもので，砂丘の傾斜変換点である，比高約10mのところに水平に現れており，斜面の崩壊を防ぐ土留めの役目をしている。b線上にある風盆は，直径3m，深さ3mの小型のもので，上には高さ1mの崖がある。風盆の背後にはハマニンニクが生えている。b線とc線のあいだには，長さ30m，幅15mの大きな風裂があり，その根元は防風垣に達している。

c線では汀線から20～50mのところに，ハマニンニクが帯状の群落を形成しており，こ

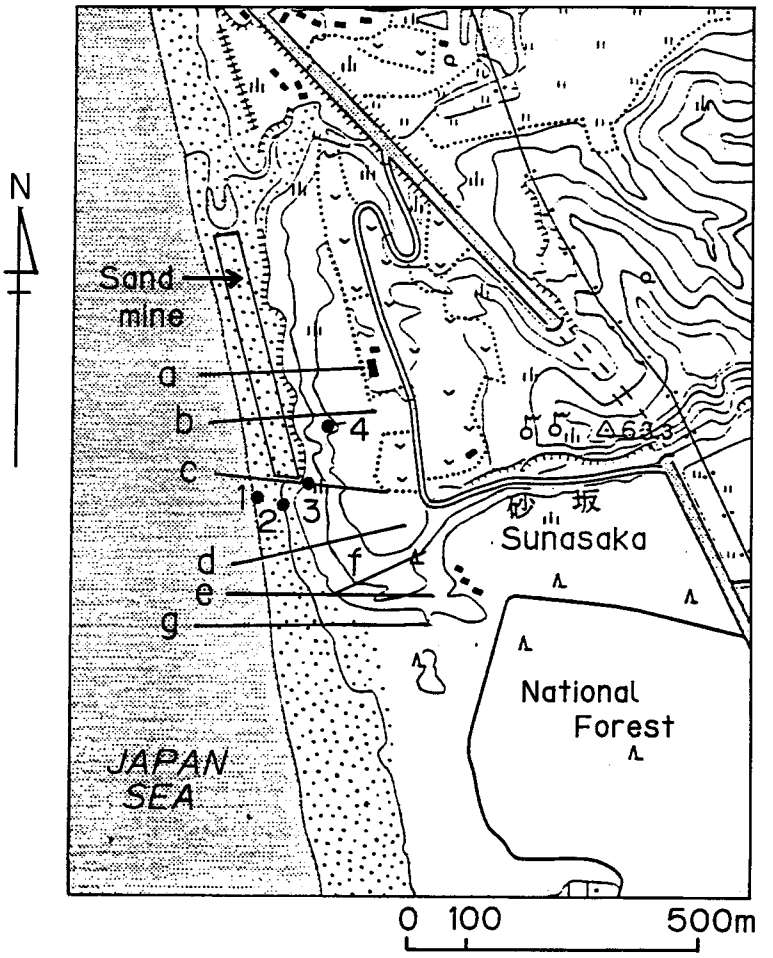

Fig. 2. Map of Sunasaka.

れは砂丘の南側までずっと続いている。ハマニンニクの後方にはハマナスの群落があるが，その中にはハマニンニクが侵入している。斜面の中ほどに，長さ 14 m，幅 15.2 m，深さ最大 1.8 m の風裂がある。風裂の内部にはハマニンニクが侵入しており，風裂の周囲には牧草のチモシー（*Phleum pratense*）が生育している。斜面上部には導入種のイタチハギ（*Amorpha fruticosa*）が定着している。d 線上には，廃屋になっている漁網格納庫があり，その海側に小丘がある。小丘上にはハマニンニクが密生している。廃屋の背後の斜面は砂が崩れて，三面の壁が埋没している。周辺の植生はハマナスだが，廃屋の背後ではハマニンニクの侵入が見られる。

e 線は砂丘の南側の稜線であり，手前側（南斜面）は 32～42 度の急勾配である。f 線は e 線から北に 25 度振った線であるが，この付近は古い風裂が走っているため地形が複雑で，少し

角度がずれると，このように変化する。⊗印でしめしたのは国有林境界の標柱で，1970年12月に設置され，1985年5月までに砂に85 cm埋没している。e線，f線ともに，砂丘の前面でハマナスとハマニンニクの混生が見られる。内陸部では導入種のアキグミ（*Elaeagnus umbellata*）やイタチハギ，クロマツ（*Pinus thunbergii*）が定着している。

g線は平坦な砂浜で，ところどころに小丘がある。内陸170 m付近までハマニンニクが出現し，特に小丘の上では密生している。いくつかの小丘はハマナスのコロニーになっているが，そこにもハマニンニクが侵入している。内陸部のクロマツは，風害を受けて甚だしく枯損している。

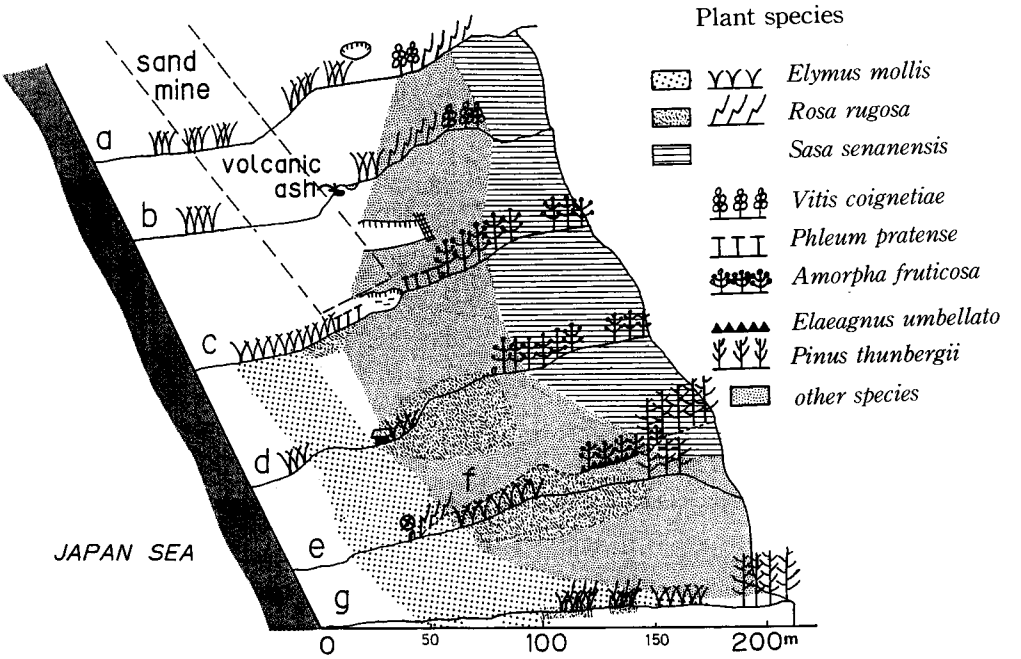

Fig. 3. Landscape and vegetation of Sunasaka dune.

2. 砂の粒径組成

風裂・風盆の内部や裸地斜面の砂は，淡黒色を呈しており，周囲の砂とは明らかに組成が異なっている。そこで1. 汀線，2. ハマニンニクに被覆された斜面，3. 風盆，4. 裸地斜面の4ヶ所で表層の砂を採取し，粒径組成を比較した（図—4）。グラフから読み取れるように，汀線の砂は細粒分が多く，粒径が均一なのが特徴で，径0.11～0.4 mmの範囲に全重量の99.9%が含まれる。しかし，径2 mmのレキも，僅かながら含んでいる。一方裸地斜面の砂は，粗粒を多く含み，径0.25 mm未満は，全重量のわずか2.2%である。ハマニンニクに被覆された斜面の砂は，汀線と裸地斜面の中間の組成を示している。風盆の砂は，他の3つと異なる

カーブを描いているが，これは0.25～0.4 mmの砂粒が特に多く，レキの含まれている割合も2.6%と高いためである。

砂坂砂丘の砂の供給源は，厚沢部川が河口へ運搬する砂であり，それが漂砂となって汀線へ打ち上げられる。汀線の砂よりも，ハマニンニクに被覆された斜面の砂が粗いのは，粒径の小さいものが内陸部へ運ばれ，大きい粒がその場所に残ったためと考えられる。風食地では，風による篩い分けがいっそう進み，組成はさらに粗くなっている。風盆の砂が特殊な組成をしているのは，風が内部で渦を巻き，砂が外へ飛散しにくいため，巻き上げられた砂が表層に堆積し，その結果0.25～0.4 mmの砂粒の割合が多くなっていると考えられる。

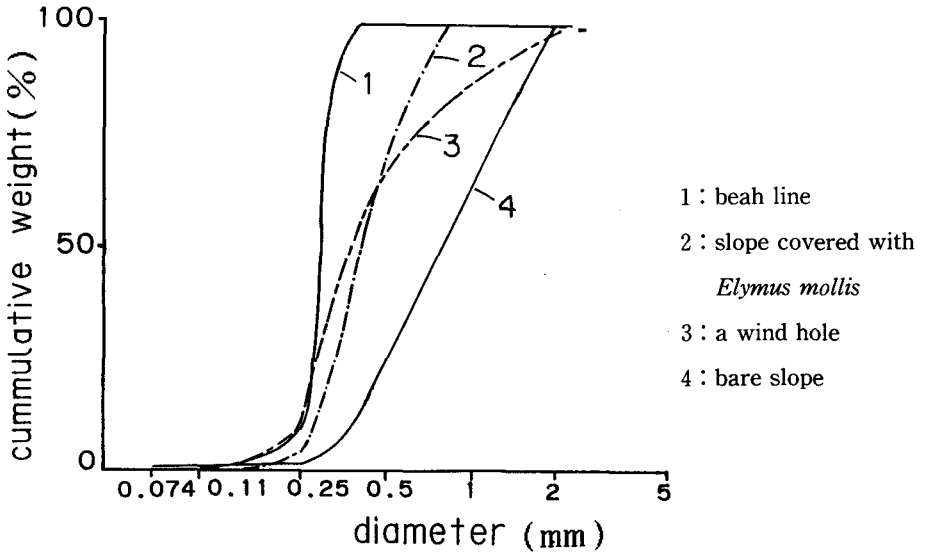

Fig. 4. Diameter composition of surface sand (Sunasaka).

3. 採砂事業の影響

採砂が行われる以前の，1970年に撮影された空中写真を見ると，当時から砂丘に，風裂や裸地斜面は認められる。しかし裸地の斜面長は1985年より短く，上部は鋭角をなしていて，直線的な後退にはなっていない。

砂丘の風裂は浅く，頭部に崖は見られない。風盆も1985年より未発達である。また漁網格納庫の前の小丘は形成されていない。砂丘南側のクロマツ林は健全である。以上のことから，1973年～1974年の採砂事業は，実行箇所の地形を改変しただけでなく，風の通り道をも変化させ，その結果，砂が新たな平衡を求めて大規模に移動したことがわかる。

風の通り道は，ハマニンニクの葉のなびき方や，ビニールのゴミの集中する度合，霧の流れなどから知ることができる。3月末の調査では，ハマニンニクの葉は北西から南東の方向へ

となびいており，日本海から吹く春の季節風の方向を示していた。ビニールのゴミは，砂丘前面の傾斜変換点や風裂の先端部に集まっており，風が集中する地点を表していた。

砂は風食地から堆砂地へと運ばれているが，現在裸地になっている場所は風食地であると判断できる。なぜなら，裸地とはすなわち植物の定着が妨げられている場所であり，堆砂には強い砂丘植物も，砂が侵食され，根が露出してしまう場所では生育できないからである。

一方堆砂地としては，地形的に凸型をしている廃屋前の小丘や砂丘南側の小丘，堆砂量が明らかになっているe線上の標柱の付近などを挙げることができる。そこで，この砂丘における砂の移動方向は，図—5に示されるようになる。つまり，採砂跡地から巻き上げられた砂が，砂丘の南半分へ運ばれ，さらに内陸部へ回り込んでいる。クロマツ林に被害を与え，枯死させているのは，この飛砂混じりの風である。

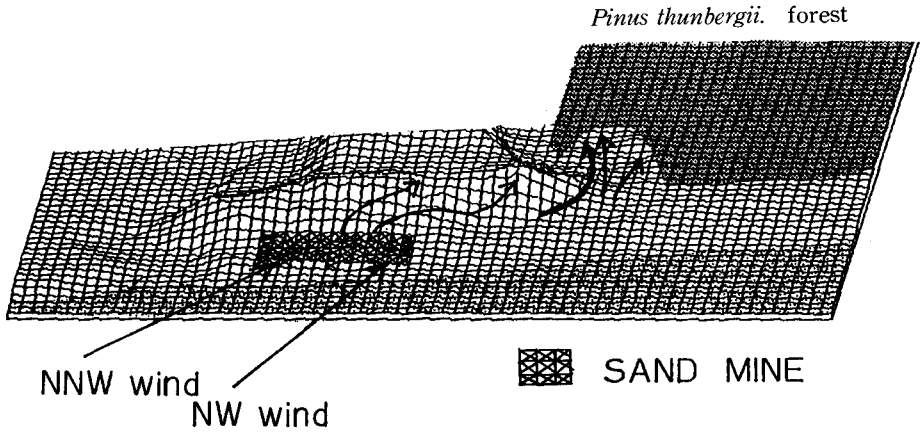

Fig. 5. Wind direction and sand movement at Sunasaka dune.

ところで，図—5の砂の移動方向と，ハマニンニクの分布を対比してみると，ちょうど飛砂が落下，堆積する地点に侵入していることがわかる。この砂丘の南半分では，ハマナスとハマニンニクの混生が，広範囲にわたってみられる。しかし，ハマナスは本来，砂丘内陸部の飛砂の少ない場所に，小群状のそう生株を形成する植物であり，普通はハマニンニクと混生することはない。斎藤（1984）によれば，ハマナスは内陸草本に対して劣勢，砂草に対して優勢である。そこで，ハマナスとハマニンニクの混生は，飛砂堆積が増加してハマナスが衰退したために，ハマニンニクの侵入が可能になって実現したと考えられる。

ササは，一般に安定地の指標とされているが，この砂丘においても，内陸部の最も飛砂の少ないと思われる場所を占めている。イタチハギ，アキグミなどの導入植物が生き残っている場所も，飛砂の直接の攻撃は受けていない。つる性植物は延原（1965）によれば，砂の移動がない場合に激増するので，ヤマブドウが生育している場所も，飛砂が比較的少ないといえるだ

ろう。

砂坂の砂丘調査から，ハマニンニクは汀線際だけでなく，飛砂堆積のさかんな場所ならば，内陸部でも生育することがわかった。次章では，地下茎の観察と埋砂実験の結果について述べる。

IV. ハマニンニクの生態

1. 地下茎の形態

ハマニンニクの地下部の形態を図—6に示す。地下茎には垂直に上へ伸びるものと，横走または斜上するものとがある。横走地下茎は長いもので4m以上にもなる。横走地下茎の生え方は樹木の不定根に似ているが，発生は1年に1回とは限らず，深い部分と浅い部分から同時に生じることもある。地下茎には節があり，節には芽と鱗片葉がついている。当年生地下茎と2年生以上の地下茎とでは，外見は全く異なる。当年生地下茎は白色で多汁質，直径6～8mm，鱗片葉は剝離せず茎を包んでいる。2年生以上のものは黄色～褐色で，硬く中空，直径3～5mmと細く，茶褐色の鱗片葉は剝離して，ヒゲ根のように節についている。発生してから3年以上経った地下茎は，腐敗して黒く変色していることが多く，発見するのは難しい。

地上茎は地下茎の先端が地表面に到達すると形成される。ゆえに地上茎基部の位置は，そ

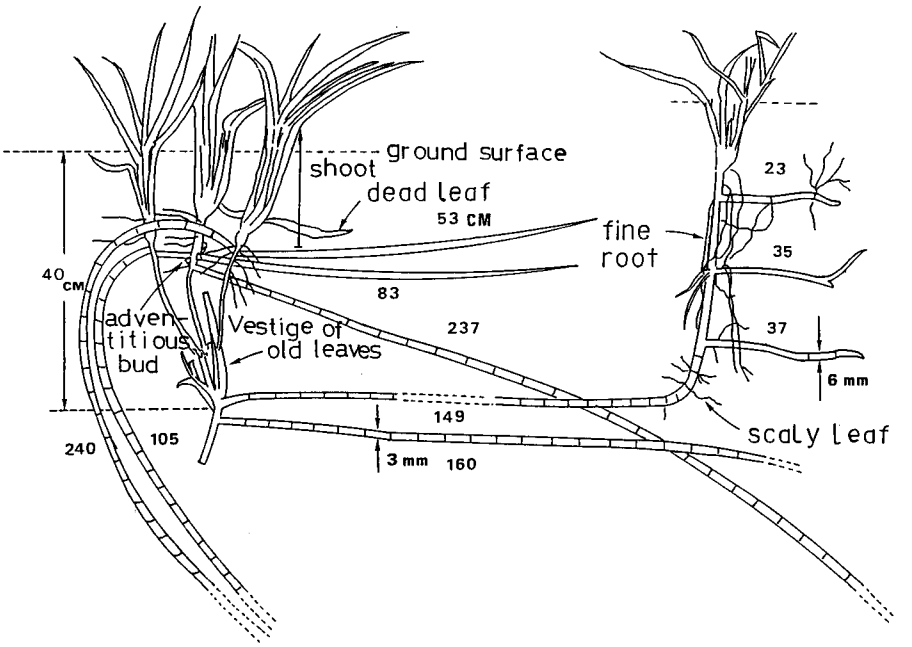

Fig. 6. Subterranean organs of *Elymus mollis*.

れが形成された時点における地表面の高さを示している。秋の生育停止時には，地下茎の先端は地表面直下まで伸びており，翌年春の融雪後にそこからシュートを展開する。また，地上茎の砂に埋没している部分は白色であり，地上茎基部の直下には不定芽が集中してついている。水分吸収のための細根も，その部分から生じている。

2. 砂丘断面の構造

石狩浜の前砂丘の一部では，砂が崩れてハマニンニクの根系が露出している（写真—1）。砂丘の表面から150 cm下まで，細根が密生している。この細根を取り除いて，地下茎の分布を調べた。

その結果を図—7に示す。地下茎は深さ170 cmまで分布しており，上下に20～40 cmの間隔で出現した。発見された10本の地下茎中，6本は枯死して黒く変色していた。生きている地下茎で最も深いものは，120 cmの深さにあった。砂丘面から62 cmと70 cmの深さに，ビニール片が埋まっていた。ビニール片は風で運ばれてきて，ここに堆積したと考えられるので，その埋まっている位置は，かつては地表だったことになる。

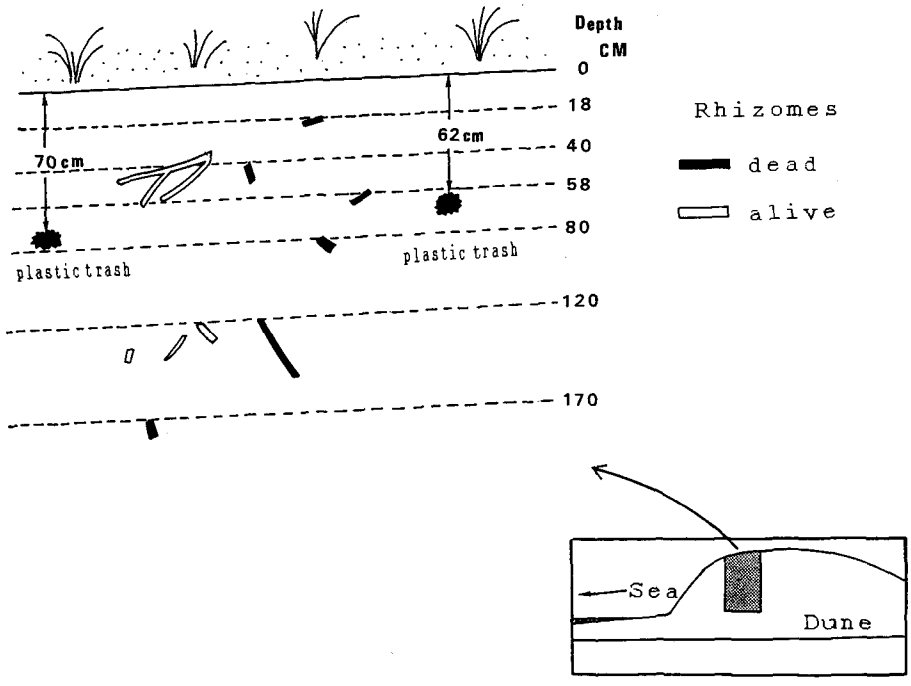

Fig. 7. Rhizomes of *Elymus mollis* appearing on a cross section of the front of Ishikari dune.

STINY（1922）はバルト海沿岸で，砂草の一種 *Ammophila arenaria* が飛砂による埋没に抵抗して，1904年から1909年まで地下茎を伸ばし続けた様子を図示している。この砂丘断面の地下茎の分布から，ハマニンニクもやはり飛砂に埋没すると地下茎を伸ばし，地上に再び

シュートを形成して，生き延びてきたことがわかる。その過程が何度か繰り返されて，砂丘が現在の高さに達したのである。

砂丘形成の原動力になるのは，風による砂の運搬であるが，植物は摩擦によって風力を減衰させ，砂の移動を停滞させることで，砂丘形成に重要な役割を果たしている。つまりそこでは，植物と砂の相互作用が起こっている。北海道・東北地方の海岸では，ハマニンニクが砂丘形成の主役になっているといわれている（ISHIZUKA 1962）。

矢野（1962）は砂草による舌状丘形成の過程を観察して，高さが1～1.5 m に達すると，不安定になって自然に崩壊すると述べている。石狩浜の前砂丘は延長 24 km にわたって続いており（上杉・遠藤　1973），かつては安定していたと考えられるが，近年はオートバイや自動車の通行による攪乱で，崩れている箇所が非常に多く，破壊は段々と進行する様子を見せている。

3. 埋砂実験

ハマニンニクが砂に埋没したときに，どのような反応を示すか確かめるために，石狩浜において 1985 年 6 月 18 日から 9 月 5 日までの期間，埋砂実験を行った。

前砂丘の海側に，ハマニンニク 6 株を含む 1 m×1 m の方形プロットを設け，6 月 18 日に厚さ 20 cm に砂をかぶせ，ハマニンニクの茎葉を完全に埋没させた（写真—2 (A)，2 (B)）。プロットの低い方の端には流木を置き，砂が崩れるのを防いだ。

8 月 7 日の観察によると，ハマニンニクの茎は立ち直り，元通りに葉を展開していた（写真—2 (C)）。砂を掘ってみると，茎の埋没部分から葉が脱落し，白い茎がのぞいていた。そしてその部分から，不定根（細根）が多数生じていた（図—8—Ⅰ）。

海側から見て左手前の株から，新しい地下茎が 2 本生じていて，1 本は実験開始前の地表

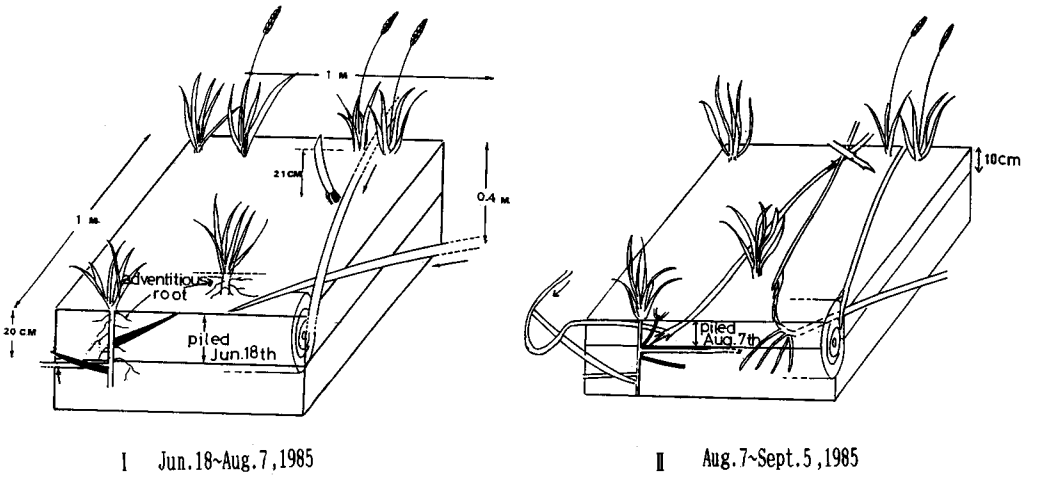

Fig. 8. Results of sand burying experiment (Rhizomes painted black were born after burying).

面の位置から，もう1本は地下茎の埋没部分から伸びており，先端が地表面直下まで達していた。またプロットの中で，新しい個体が一つ芽生えていた。

プロット外のハマニンニクから，2本の地下茎が伸びてプロット内に侵入しており，1本は流木に貫入し，もう1本は先端が流木の上に飛び出していた。

観察後に，再び砂を20 cmの厚さに積み上げ，9月5日に2回目の観察を行った。この場合もハマニンニクの茎は立ち直っていたが，葉が黄色味を帯びて活力がなかった。しかし，プロット外のハマニンニクも同じ状態だったので，これは8月から雨がほとんど降らなかったためと判断された。

茎につけておいた印から，8月7日にかぶせた砂の厚さが，20 cmから10 cmに減少していることがわかった。砂留めがしっかりしていなかったので，崩れてしまったものと思われる。8月7日と同様，砂に埋没した葉は脱落し，そこから不定根が生じていた（図―8―II）。

左手前の株からは，8月7日と同様に，2本の地下茎が発生していた。8月7日に生じていた地下茎は，1本がプロット外へ伸び，もう1本は流木に貫入していた。プロット外からは，新たに4本の地下茎が侵入していた。8月7日に流木に貫入していた地下茎は，貫通して地上茎を形成していた。

この実験の開始前に，砂をかぶせた個体はいずれも，地下茎を発生させると予想したが，実際には埋砂の度に発生するものもあれば，期間中一度も発生しなかったものもあり，発生能力には個体差がかなりあると思われる。

金内・泉谷（1977）は，酒田市の前砂丘に株植えされたハマニンニクの発芽率が，堆砂深25 cm以上では不良だったと述べている。しかし筆者らの実験は，すでに野外で生育しているハマニンニクを対象にしたので，堆砂が生育にダメージを与えることはなく，地上茎の伸長によって，充分に回復することができた。

ところで，実験中にプロット外のハマニンニクから地下茎が次々に伸びて，プロットへ侵入したのは興味深い現象である。8月7日にプロット周辺の6箇所で地下茎を掘ってみたが，長さは最大で20 cmで，プロットに侵入したような1 mを越すものは，1本もなかった。このことから，堆砂が刺激となって，プロット近傍のハマニンニクの地下茎の伸長を促したのではないかと考えられる。

鈴木・沼田(1982)は，千葉県九十九里浜で，堤防の内側に植栽されたハマニンニクが，海側からの新しい堆砂にともなって，地下茎を伸ばして広がり，逆に内陸側は順次枯死していくために，生育域は年平均5 mも海側へ移動していると報告している。風が強く，しばしば潮をかぶることもある汀線際へ好んで移動していくのは，植物の行動としては異常であるが，この特殊性はハマニンニクの指標的価値を高めるものである。

V. 指標的価値の検討

1. 地下茎の情報化

前章までの観察と実験の結果から，堆砂に対するハマニンニクの反応がほぼあきらかになった。そこで，地下茎により最近の堆砂現象を推測することを試みた。

対象にしたのは，砂坂の海岸の汀線から20 mの位置にある最前線のコロニーである。このコロニーは，9個の株を含んでいた。横走地下茎のほとんどは，海へ向かって伸びており，内陸へ向かう地下茎は，数も少なく，長さも海へ向かうものに比べて短かった。砂を掘ると，地上茎は約20 cm砂に埋没しており，基部には枯死葉がついていた。

基部の直下から，横走地下茎が集中的に発生していた。垂直地下茎の節からも横走地下茎が発生しており，一部は他の株につながっていた。地下30～40 cmの深さに，前年の株の痕跡が発見された。これらの特徴は，全個体に共通している。

一方，砂の状態は，地下20 cmに直径2～3 mmのレキを含んだ粗砂の層があり，地下58 cmに直径2～5 mmのレキの層があった。二つの層の間の砂は，表層の砂と同様の組成だった。

二つの層の位置と地下茎を重ね合わせると，図—9のようになる。上の粗砂層に横走地下茎が集中している。垂直地下茎を最後までたどれたのは1個体だけだったが，それは下のレキ層の上から始まっており，地下茎の切れ端から芽生えたものだった。

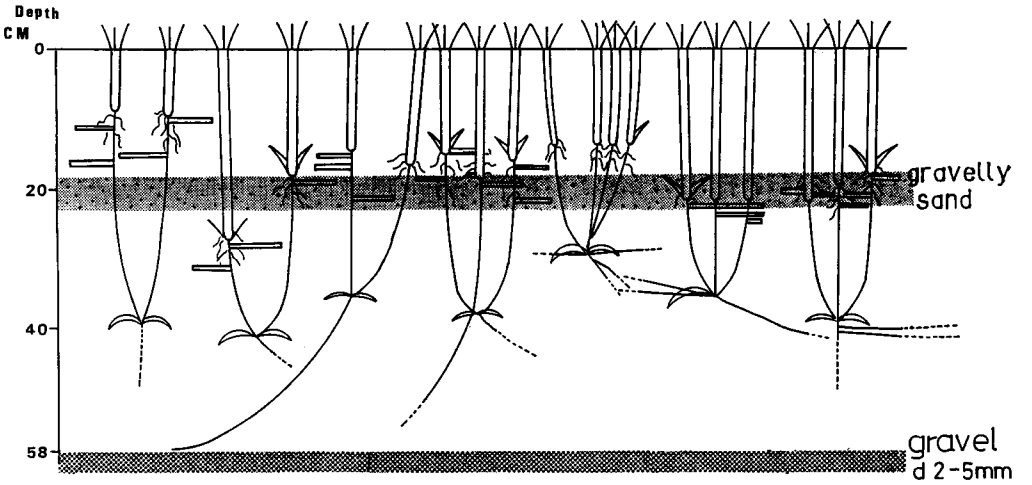

Fig. 9. Underground cross section of the colony.

以上の観察結果をもとに，この地点における最近の小規模な地表変動についての推測を行った（図—10）。

まず，地下58 cmのレキ層は，粒径からみて風で運搬されたものではなく，波に打ち上

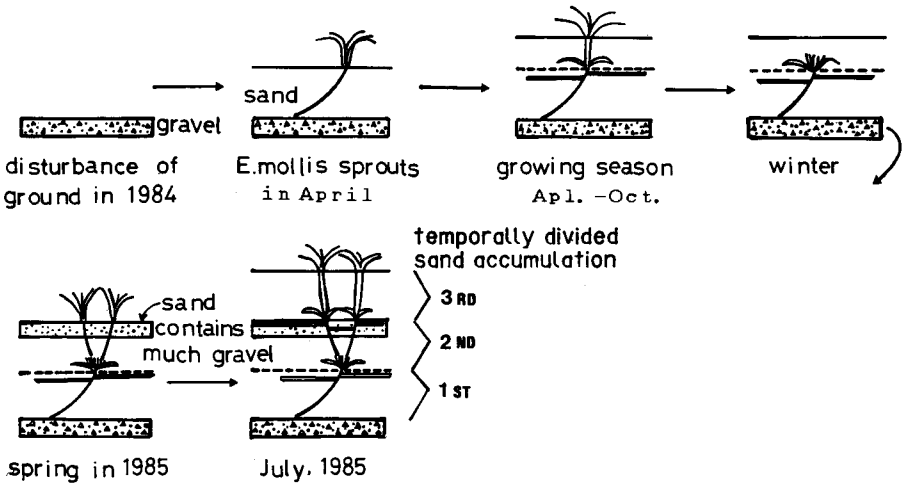

Fig. 10. An estimation of sand deposition.

げられたものと考えられた。このときに地表面が攪乱され，生息地を破壊されたハマニンニクの地下茎の一部が，レキとともに残された。その時期は1984年の春以前である。

4月になり，ハマニンニクが生育を開始し，上に堆積した飛砂を貫いて地上茎を形成した。生育期間中ずっと，飛砂の堆積は続き，地上茎はそれに対抗して伸長を続けた。冬になって地上部は枯れ，地下茎だけが越冬した。翌1985年の4月，再びハマニンニクは地上茎を形成した。

レキ混じり粗砂の層は，地上茎の直下に位置していることから，生育開始の直前に堆積したと考えられる。生育開始後は，調査時点の7月まで，飛砂の堆積と地上茎の伸長が繰り返されている。そこで，この地点の砂の堆積時期は，ハマニンニクの生活史にあわせて三つに区分される。第1の時期は1984年4月以前，第2の時期は1984年4月～1985年3月，第3の時期は1985年4月～7月である。

2. 砂地の年次別拡大

石狩湾新港は1973年に着工され，防波堤や沿岸の施設が次々と完成されている。海に突出した構造物が造られるたびに，潮の流れが変化し，汀線の形も年々変わっている。筆者らが調査地に選定したのは，中央水路と危険物取扱施設用地にはさまれた海岸である（図—11)。

この海岸は着工以来侵食を受けていたが，1983年に東側に埠頭が建設されてから，侵食が堆積に転じ，汀線は年々前進している。その原因は，潮流が勢いを弱められ，漂砂が堆積するようになったことにある。この砂地にはハマニンニクが侵入し，群落を形成している。

筆者らはハマニンニクの分布と生育状態，そして地下茎から，砂地の年次別拡大状況を追跡してみることにした。

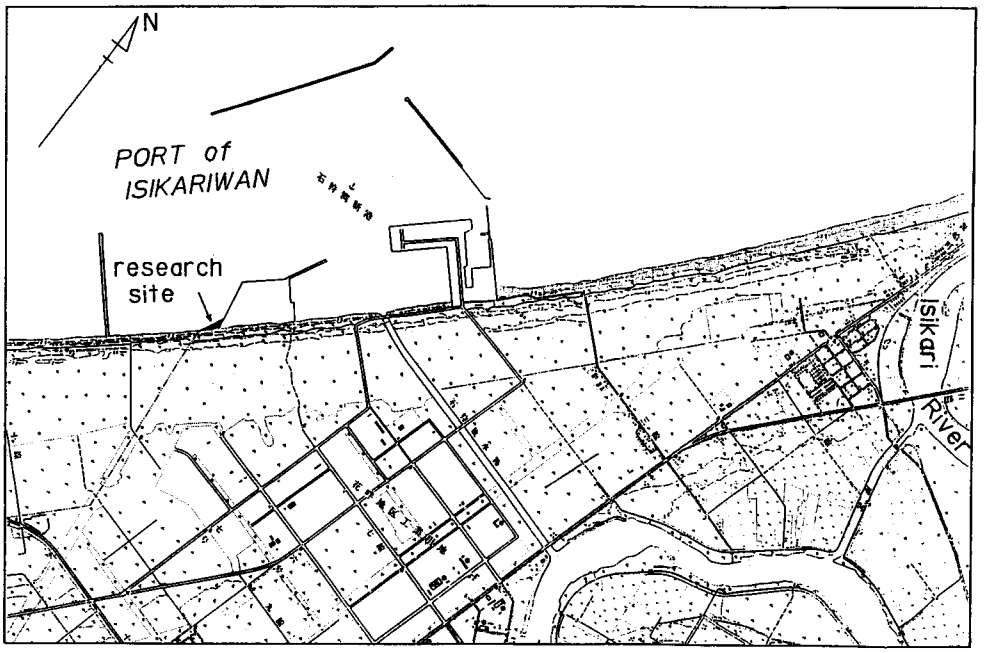

Fig. 11. Map of Ishikariwan Port.

1) 地形と植生

図—12に，1986年9月18日における調査地の地形および植生の概要を示す。地形は，港湾着工以前からある天然砂丘と，その前方に広がる幅約150 mの平坦な砂浜からなっている。汀線から50 mまでは裸地になっている。その後方に，オカヒジキやコウボウムギを混じえた，ハマニンニクの疎な群落がある。最前線のハマニンニクは，汀線に近い裸地へ地下茎を伸ばし，生育域を広げようとしている。

さらに後方には，ハマニガナとコウボウムギが混生する，ハマニンニクの密な群落がある。その内陸側の砂丘の斜面は不安定で，崩れた砂が前方へせり出している。その上に，ハマ

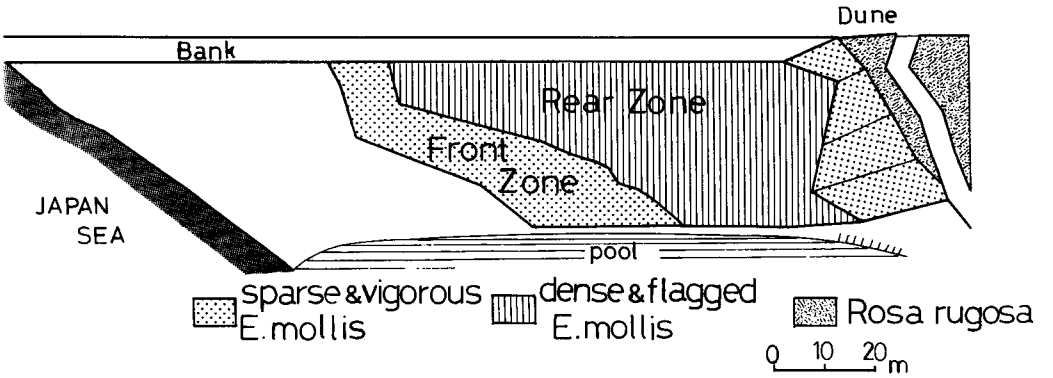

Fig. 12. Landscape and Vegetation of the research site (see photo-3) (Ishikariwan Port).

ニンニク，オカヒジキ（*Salsola komarovii*），アイアシ（*Phacelurus latifolius*）などがまばらに生育している。

砂丘の上は道路になっている。路肩は元来，ハマナスの生育地だったが，現在ではかなり衰退し，ハマニンニクが数多く侵入している。道路の内陸側はススキ群落で，さらに奥にはカシワ・イタヤ（*Acer mono*）の天然林が続いている。

平坦地の二つのハマニンニク群落は，密度が違うばかりでなく，個体の活力も異なっていた。すなわち9月18日の調査時点で，前方の群落のハマニンニクは穂がまだ開かず，葉は青々としていたが，後方の群落のものは穂が開き，葉は黄色味を帯びて萎れていた。ハマニンニクは新しい堆砂地を好む植物であるから，この生理的年齢の違いは，砂地の形成年代の違いによるものと考えた。そして二つの群落を，それぞれ前線帯，後方帯と名付けた。砂丘斜面のハマニンニクは，前線帯のものと同様に，緑色で活力があった。

2)　地下茎

1986年10月に，前線帯の海側，後方帯の海側と内陸側，砂丘斜面において，ハマニンニクの地下茎を掘って観察し，堆砂深を調べた（図—13）。

どの地点でも，前年（1985年）の株の残がいが発見された。1984年の株は発見されなかった。地上茎が砂に埋もれている深さ，および1985年の株の深さは，前線帯と後方帯海側でほぼ等しかった。しかし後方帯の内陸側では，1985年の株はもっと深いところにあった。地下茎から求めた1985年4月～1986年3月の堆砂深は，前線帯で平均18 cm，後方帯海側で11.8 cm，後方帯陸側で45 cmだった。1986年4～10月の堆砂深は，前線帯で平均9.5 cm，後方帯海側で14.1 cm，後方帯陸側で17 cmだった。

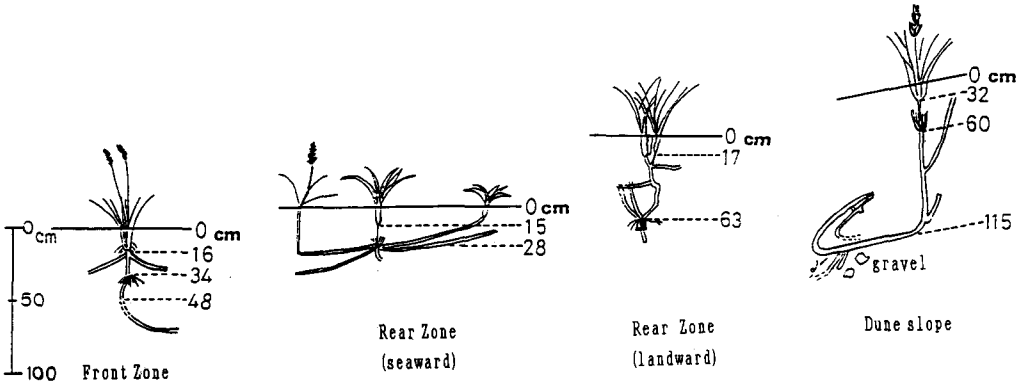

Fig. 13. Morphology of rhizomes (Ishikariwan Port).

砂丘斜面では地下120 cmのところに，直径3～4 cmのレキや腐った葉とともに，地下茎の断片が発見された。図—13のハマニンニクは，その断片から芽生えたものである。地下茎は垂直に長く伸びており，1985年の株の深さは60 cm，地上茎の埋没している深さは32 cm

だった。地下茎から求めた砂丘斜面の堆砂深は，1986年4～10月が27.5 cm，1985年4月～1986年3月が22 cmであり，1985年3月以前には，60 cm以上の砂がほぼ一度に堆積している。

次に，前線帯と後方帯にある，ハマニンニクの舌状丘の断面をとって観察した（図―14）。前線帯の舌状丘は，高さ21 cm，長さ2.9 m，幅3.3 mで，捕捉されている砂の量は0.7 m^3である。後方帯の舌状丘は，高さ31 cm，長さ3.1 m，幅3.3 mで，捕捉されている砂は1.0 m^3である。後方帯の舌状丘の方が，前線帯の舌状丘より起伏に富んでいる。また，地上茎の基部を線で結ぶと，1986年の生育開始時（4月）の地表面の形が得られる。

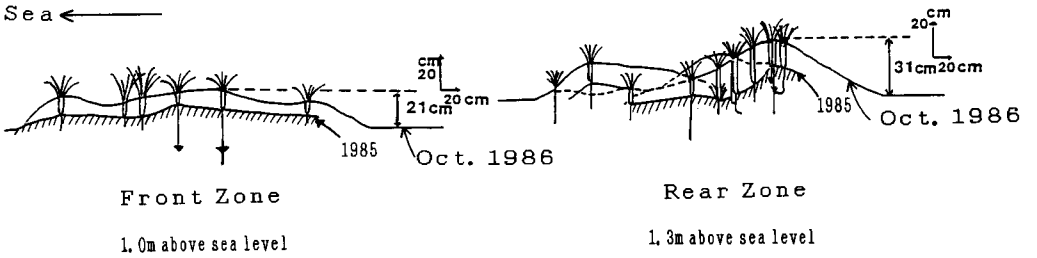

Fig. 14. Vertical sections of embryonic dunes stabilized by *Elymus mollis* (Ishikariwan Port).

これを見ると，後方帯では1986年4月の時点で，すでに盛り上がりがあるが，前線帯ではほとんど平坦である。石狩地方では，冬期の飛砂発生は積雪によって抑えられている（小林 1987）ので，1986年4月の地表面というのは，実質的には1985年の根雪前の地表面と同じ形だと考えられる。

そして，前線帯において1985年の地表面が平らなのは，地上茎の密度が余りに低く，飛砂を捕捉する能力がなかったためと考えられる。後方帯において，1985年の地表面が盛り上がっているのは，ハマニンニクがすでにある程度の密度に達し，舌状丘の形成が始まっていたことを意味する。このことは，ハマニンニクの侵入年に差があることを示し，砂地は毎年拡大しているので，その差は1年であると考えられる。

3) 砂地の拡大状況

実測によれば，この調査地の汀線は，港湾着工後に少なくとも50 m後退している。後退が最大になった1983年には，天然砂丘まで侵食を受けたと推測される。その根拠は，砂丘斜面の下から発見された砂利や，ハマニンニクの地下茎の断片である。砂利は道路に敷かれていたものであり，地下茎は海中を漂って流れ着いたものである。

埠頭が建設され，侵食が堆積に転じたために，植物の生育基盤となる陸地ができ，上に砂丘の崩れた砂が堆積して，ハマニンニクが生育を開始することができた。1984年中に，後方帯プラス20 m程度の砂地が形成されたと考えられる。20 mというのは，一般的に北海道の海岸で見られる，汀線からハマニンニクの最前線までの距離である。

新たに形成された砂地には，ハマニンニクが速やかに侵入した。侵入の形式は，漂砂とともに流れ着いた地下茎の断片によるものと，種子によるものと，二通りが考えられる。ハマニンニクがシュートを展開すると，飛砂が捕捉されて小さな舌状丘が形成された。1985年には，前線帯プラス20m程の砂地が形成され，そこにもハマニンニクがただちに侵入した。後方帯のハマニンニクは密度が高くなり，飛砂捕捉能力が増したため，舌状丘は前年より大きくなった。

砂丘斜面の砂は崩れ続け，ハマニンニクの茎を埋没させた。1986年（調査年）には，裸地になっている部分の砂地が形成され，そこには前線帯のハマニンニクが，地下茎を伸ばし，進出しようとしている。前線帯に舌状丘が形成され，後方帯の舌状丘は高さをさらに増している。1983年の汀線の実測値はないが，植生をもとにすれば，毎年約50mずつ前進していると言うことができる（図―15）。

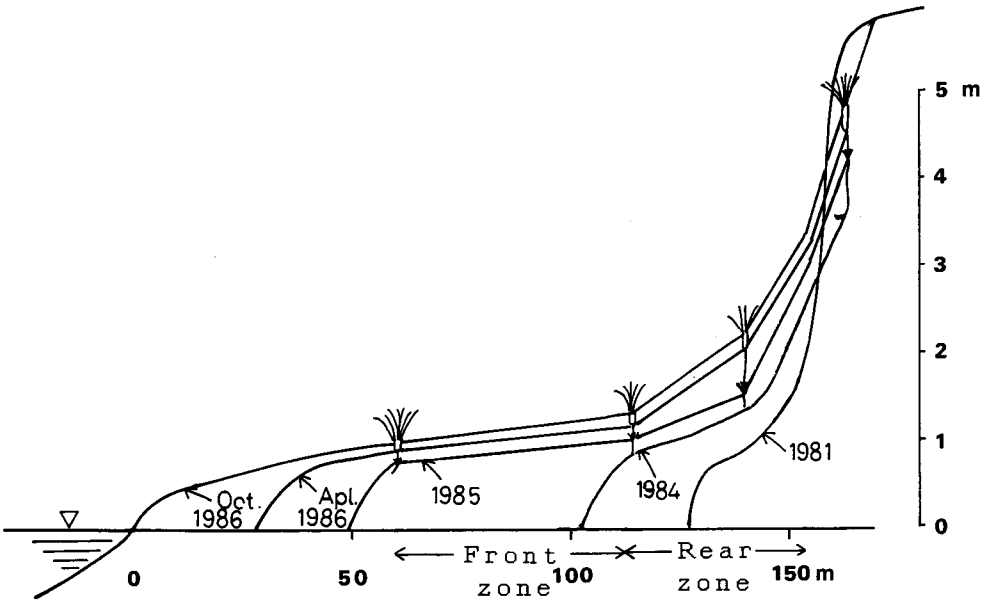

Fig. 15. Advancement of beach line and rise of ground surface (Ishikariwan Port).

VI. 考　　察

植物を環境変動の指標として用いる場合，ある特定の種の，環境に対する反応を指標にするのと，群落の構成種の変化を指標にするのと，二通りの方法がある。前者の例として，アサガオやヒマワリなどを用いた公害の実態調査が挙げられる。

環境条件の総和を見るのには，植物を群落として捉える後者の方法が，適していると考えられている(日本生態学会　1975)。しかし，公害発生や海岸砂丘の荒廃のように，実態把握を緊急に行なわれなければならない場合には，単純な指標のほうが有効であると考えられる。

ハマニンニクは，日本に天然分布する植物である。ハマニンニクの静砂工材料としての性質については，いろいろな研究がなされてきたが，その生態の特殊性は，鈴木・沼田（1982）以前にはほとんど認識されていなかった。ハマニンニクの生育地が，安定か不安定か，という点でも混乱があり，例えば富樫（1939）は，ハマニンニクは新しい砂や，飛砂地には適さないと述べている。

北海道において，植生帯の最前線に生育するハマニンニクが，安定した古い砂地を好むことは考えにくい。なぜなら前線は，砂の供給が最も多い場所だからである。またハマニンニクは，同化産物の非常に多くの部分を，地下茎に回している。その長大な地下茎は，堆砂の盛んな場所で生き延びるための手段ではないかというのが，筆者らの最初の着眼であった。

砂坂での調査結果から，ハマニンニクは新しい堆砂地に，他の種に先がけて侵入する植物であり，内陸部においても，飛砂堆積が増加して先住植物が衰退すると，すみやかに侵入してくることが明らかになった。

飛砂堆積が盛んなうちは，ハマニンニクの生育は極めて旺盛であり，新しい堆砂地を求めて，活発に生育域を拡大していく。そして個体密度が増加し，飛砂捕捉能力が高まって砂地が安定化すると，自然に衰退する。石狩湾新港では，侵入年の差が1年でも，活力の差は歴然としていた。石狩支庁厚田村で，人工砂丘上に植栽されて11年経過したハマニンニクを調査した結果（小林　1987）では，堆砂量は11年間で28 cmで，ハマニンニクの地下茎は発生本数・伸長量ともに少なく，繁殖力の衰えは顕著であった。衰退の原因が，養分・水分をめぐる競争であるのか，他の要因であるのかは明らかでない。しかし堆砂が盛んであることが，ハマニンニクの生育にとって必須条件であるのは確実である。

したがって，このようなハマニンニクの生態的特徴を理解していれば，砂丘の地表変動を判別するのに有力な手がかりとなる。

砂丘の植物の中には，飛砂堆積に強い抵抗力を持つものが多い。しかし風食を受けて根系が露出してしまう場所では，ほとんどの植物が生育できない。例外的に，シロヨモギやハマボウフウは，植物体が地表面に匍伏するので，根系が直接露出することがなく，風食に対しては有利である。

そこで北海道の海岸砂丘においては，風食地→裸地，堆砂地→ハマニンニク，安定地→内陸型植物，という区分が可能であろう。

地表の植生により大まかな区分をしたのちに，ハマニンニクの地下茎から得られる情報により，最近2，3年間の堆砂現象について知ることができる。ただし，地下茎だけからでは，堆砂量に関する情報しか得られないので，これに砂の組成や，人工的な異物（ビニール片，砂利など）から得られる情報を組み合わせ，経時的な微地形変化の判別を行う必要がある。

植物の根系から過去の地表変動を推測することは，これまでにも山地や渓流において行なわれてきた（東　1979）。この場合，指標として用いられるのは樹木であり，地すべりや土石流

の発生頻度が，樹木の寿命と同じ百年のオーダーであることが，指標としての整合性を高めている。

砂が移動している砂丘では，高木は生育せず，低木のハマナスでも寿命はせいぜい十数年である(斎藤　1984)。しかし砂丘における砂の移動頻度を考えると，地表変動の把握にとっては，現在的な情報の方が重要な意味を持つ。

地下茎を持つ植物ならば，どれでも砂丘の微地形変化の指標になりうる。例えばハマナスの地下茎からでも，過去における地表面の位置を知ることができる(斎藤　1984)。だが最も変動の激しい場所に生育するハマニンニクこそ，指標として最大の価値を持つと考えられる。

今後は，砂地の安定度とハマニンニクの生育の関係，ハマニンニクと他の植物との競合関係がより明らかになり，各地の海岸砂丘の調査に，指標として利用されることが望まれる。

謝　　辞

本研究を進めるにあたり，御指導と御助言をいただいた北海道大学農学部林学科教授　新谷　融先生，調査地の選定について助言してくださった北海道立林業試験場の伊藤重右エ門博士，調査に同行して下さった北海道大学農学部砂防工学講座の教官ならびに学生の方々，調査の便宜をはかって下さった檜山支庁林務課ならびに小樽港湾事務所の方々に，深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

1) 東　三郎：地表変動論―植生判別による環境把握―，北大図書刊行会，1979年
2) 東　三郎・小林佐保里：植物指標による海岸砂丘の動態解析，**99**回日林論，625-627，1988
3) ISHIZUKA, K. Annu, Rep.: Gakugei Fac. Iwate Univ., **20**, 140-168, 1962
4) 伊藤武夫・豊島重造：ハマニンニクの増殖について．新大農術報，**4**，62-64，1953
5) 日本生態学会環境問題専門委員会編，環境と生物指標1―陸上編―．216（共立出版，1975）
6) 金内英司・泉谷英幸：前砂丘造成法に関する基礎的研究（Ⅷ）―堆砂とハマニンニク発芽の関係―，日林東北支会誌，29，154-155，1977
7) 小林佐保里：北海道における海岸林造成地の環境改善に関する考察．北大卒論，1985
8) 小林佐保里：海岸砂丘地の変動に関する植物指標の研究．北大修論，1987
9) 小林佐保里・東　三郎：海岸砂丘地における堆砂とハマニンニクの生育．日林北支講，**34**，172-174，1985
10) 延原　肇：生活型による海浜群落―環境系の解析．生理生態13(1)，35-41，1965
11) 斎藤新一郎：小清水町原生花園における砂丘植生について．知床博物館研究報告**6**，67-85，1984
12) STINY, J: Technische Geologie, 298-310, Verlag von Ferdinand Enke., Stuttgart, 1922
13) 鈴木英治・沼田　真：ハマニンニク植栽堤防から出発した海岸砂丘の遷移．日生態会誌，**32**，129-142，1982
14) 寺崎日本植物図譜：161（平凡社，1977）
15) 富樫兼次郎：日本海北部沿岸地方における砂防造林．興林こだま**34**，114，1939
16) 上杉　陽・遠藤邦彦：石狩海岸平野の地形と土壌について．第4紀研究，**12**，115-124，1973

17) YANO, N.: The subterranean Organ of Sand Dune Plants in Japan, J, Sci, Hiroshima Univ., Ser, B, Div, **2**, **9**, 139-184, 1962

Summary

Elymus mollis (Hama nin-niku) grows as the front line of vegetation on sandy beaches on the island of Hokkaido. Since sand-mining was carried out at the Sunasaka Dune (in southern Hokkaido by the Japan Sea) during 1973 through 1974, bare land has been spreading around the mining area. *Elymus mollis* has been seen to invade places where blowing sand from bare land deposits. This suggests that *Elymus mollis* can be a useful indicator regarding sand movement.

The subterranean rhizomes and roots of the plants were observed, and an experiment in which the stems were completely buried under 20 cm of sand was conducted. *Elymus mollis* survived the burying by straightening its stems without any further growth of new rhizomes. Yet, the sand deposit enhanced the growth of rhizomes of plants invading the plot from outside the experimental area.

In another experiment, one small colony in Sunasaka was dug up to examine if rhizomes can be used to clarify the sand deposition history. Since *Elymus mollis* is a perenial grass, the vestiges of last year's leaves remain underground. In addition, the depth at which stems are buried indicates the amount of sand deposition from April to the time of observation. The last two years of sand deposition could be described by observing the shape of the rhizomes and two layers of gravelly sand.

Finally, *Elymus mollis* was used in determining the process of beach line advancement at Ishikariwan Port.

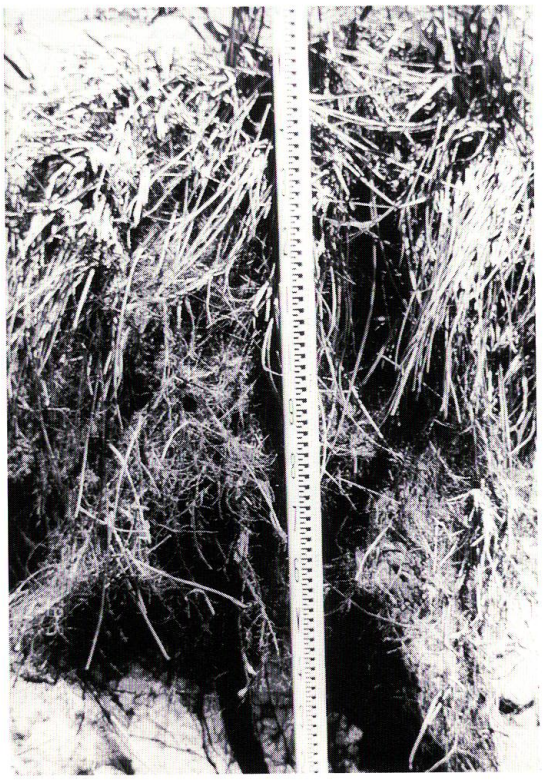

Photo. 1 Roots and rhizomes of *Elymus mollis* emerging from a broken dune (Ishikari dune)

Photo. 2(A) Before sand burying experiment (Jun. 18, 1985)

Photo. 2(B)　Just after burying (Jun. 18, 1985)

Photo. 2(C)　After 50 days (Aug. 7, 1985) Stems have erected and new leaves are spreading

Photo. 3　View of Ishikariwan Port