

第 1 2 回研究集会プログラム

期 日 平成 3 年 9 月 3 日 (火) ～ 4 日 (水)
会 場 北海道函館市 市民会館

テーマ：未来につながる豊かな大地

I. 研究発表会 9 月 3 日 (火)

- | | | | |
|----------------------------|-------------|------------------------|-------|
| 1) 部会長挨拶 | 9:30～ 9:35 | 帯広畜産大学教授 | 松田 豊 |
| 2) 来賓挨拶 | 9:35～ 9:40 | 北海道開発局農業水産部長 | 堀井 健次 |
| | 9:40～ 9:45 | 北海道農政部長 | 松田 利民 |
| 3) 歓迎の辞 | 9:45～ 9:50 | 函館市長 | 木戸浦隆一 |
| 4) 北海道における農地保全対策 | 9:50～10:35 | 北海道農政部施設整備課
課長補佐 | 鳴海 力 |
| 5) 渡島管内における農地保全上の施工例 | 10:35～11:20 | 北海道農政部施設整備課
主査 | 吉牟礼康男 |
| 6) 北海道の気候とその変動 | 11:20～12:05 | 北海道大学大学院環境科学研究科
助教授 | 高橋 英紀 |
| 7) 昼 食・休 憩 | 12:05～13:00 | | |
| 8) 北海道における農村地域の景観整備 | 13:00～13:45 | 専修大学北海道短期大学
教授 | 山上 重吉 |
| 9) 北海道における U S L E の適用について | 13:45～14:30 | 帯広畜産大学 助手 | 辻 修 |
| 10) 中国黄土高原における農地保全問題 | 14:30～15:15 | 北海道大学農学部 講師 | 長沢 徹明 |
| 11) 総合討論 | 15:20～17:00 | 各講師 | |

II. 懇親会 18:00～19:30 於 函館国際ホテル

III. 現地見学会 7 月 4 日 (水)

8:00～18:00

コース 函館駅前集合 (7:50) 出発 (8:00) → 道営農地保全事業中の沢地区 (8:45～9:15)
→ 国営農地開発事業七飯地区 (9:45 ～10:15) → 大沼公園 (10:30～12:00) → 森町
濁川地熱発電所 (13:00～14:00) → 鹿部間欠泉 (14:45～15:15) → 湯の川トラピス
チヲ修道院 (16:15～16:45) → 函館空港 (17:00) → 函館駅 (17:30) 解散

目 次

あ い さ つ

農地保全研究部会長 松 田 豊 …… 1

1. 北海道における農地保全対策

北海道農政部施設整備課 鳴 海 力 …… 3

2. 渡島管内における農地保全上の施工例

北海道農政部施設整備課 吉牟礼 康 男 …… 20

3. 北海道の気候とその変動

北海道大学大学院環境科学研究科 高 橋 英 紀 …… 38

4. 北海道における農村地域の景観整備

専修大学北海道短期大学 山 上 重 吉 …… 58

5. 北海道におけるU S L Eの適応について

帯広畜産大学 辻 修 …… 78

6. 中国黄土高原における農地保全問題

北海道大学農学部 長 沢 徹 明 …… 97

あ い さ つ

農業土木学会 農地保全研究部会

部会長 松 田 豊

農業土木学会、農地保全研究部会の第12回の研究集会を、ここ函館において多数の参加者をえて開催することができますことは、私どもにとりまして真に大きな喜びとするところであります。

本部会が、昭和54年7月に発足し、55年6月の第1回の研究集会が開かれてより、一昨年10月の沖縄での集会が10回目を数え、一つの節目として10周年の記念研究集会が盛大に行われたことは記憶に新しいところであります。

昨年より私が部会長を仰せ付けられたこともあり、第11回の研究集会を北海道帯広市において開催致しましたが、今回も北海道で開催することと致しました。2度続けてはどうかな、との考えもありましたが、北海道は広いですし、道東の帯広と、道南の函館では、気候風土も異なっていることを実感できるであろうと思い開催することとしました。

ところで、ご存じのように、本年度より土地改良予算の名称が「農業基盤整備費」から「農業農村整備事業費」に改められるとともに、その内容も農業生産基盤整備、農村整備、農地等保安全管理に整理されました。

このように、農業生産基盤の整備はもとより、近年重要性が強く打ちだされている農村地域の生活環境の整備とともに、国土の防災保全の役割も前面に出て来ています。これは、快適で美しい農村空間づくりの前提条件としての防災保全対策としているように、農村全体を考慮した対応をしていかなければならないことを示しています。昨年も申し上げたように、この部会における対象もこれからは農用地だけでなく環境的保全（地域保全）、農村空間の保全等がさらに重要となると思いますし、その方向へ研究、対応が向けられなければならないと考えております。

さて、今回のテーマを「未来につなぐ豊かな大地」としましたが、昨年の分も含めて、講演の題目を見ますと、北海道における話題が多くなっておりますが、それだけ北海道では農地保全問題を多くかかえている表れではなかろうか

と考えています。

さらに、今後の課題の一つとして地球規模での環境保全に、我々の分野からも貢献していかなければならないと考えておりますが、その観点から、中国黄土高原の農地保全に関する現地の状況を話題として取り上げました。

これに関連して、第7回のISCO（International Soil Conservation Organisation 国際土壌保全会議）が、来年、オーストラリアにおいて開かれることになっています。発表も含めて多数の参加を期待しておりますので、今から準備をお願い致します。

今回の集会における講師各位の貴重な講演に大きい期待をするものでありますが、後に行われます総合討論において、講演に関連するもの、さらには、全国的・世界的視点での農地保全・環境保全等について活発な意見交換がなされ本研究集会が実りあるものとなることを期待しております。

最後に、この研究集会および現地見学会開催につきましては、北海道、北海道開発局、函館市、その他関係機関の協力を頂きましたが、特に、北海道農政部、渡島支庁農業振興部の全面的な協力により開催できましたことを記して、厚く御礼申し上げる次第でございます。

北海道における農地保全対策

北海道農政部
鳴海 力

はじめに

北海道における本格的な農業の展開は、明治初期の開拓使の設置にはじまる。その後の約120年は、本州の稲作や諸外国の畑作などの農業の歴史にくらべると短い期間ではあるが、その間に厳しい自然に挑んだ先人達の努力により、現在、わが国の食糧基地といわれる地位を築き上げてきた。

この間、比較的温暖で水が確保できる場所は水田、緩やかな傾斜地では畑地、冷涼な地帯や傾斜の急なところは牧草地というように、地形や気象に応じた土地利用がなされてきた。しかし、北海道は積雪寒冷地という気象条件に加え、火山性土、重粘土、泥炭土など土壌の理化学性の改善を要する特殊土壌が広く分布し、それぞれに農地保全対応がとられてきた。さらに、農地の拡大のため傾斜地での畑地造成や、大型農業機械対応のための圃場区画拡大などにより、農地保全として、より高度な対応がとられ今日に至っている。

ここでは、北海道農業の概要からはじめ、北海道での土壌侵食の実態と農地保全対策をふまえ、今後の農地保全の展開方向について述べる。

1 北海道農業の概要

1-1 北海道の開拓¹⁾

北海道の開拓の歴史は、農業開発の歴史でもある。明治2年に政府の開拓使が設置され、本格的に開拓の鉤が入れられてから120余年の間、厳しい気象条件と劣悪な土壌条件のもとで、これを克服するために近代的な農業技術、さらには、農業基盤整備が導入されるなど、先人達のたゆまぬ努力によって発展をとげてきた。

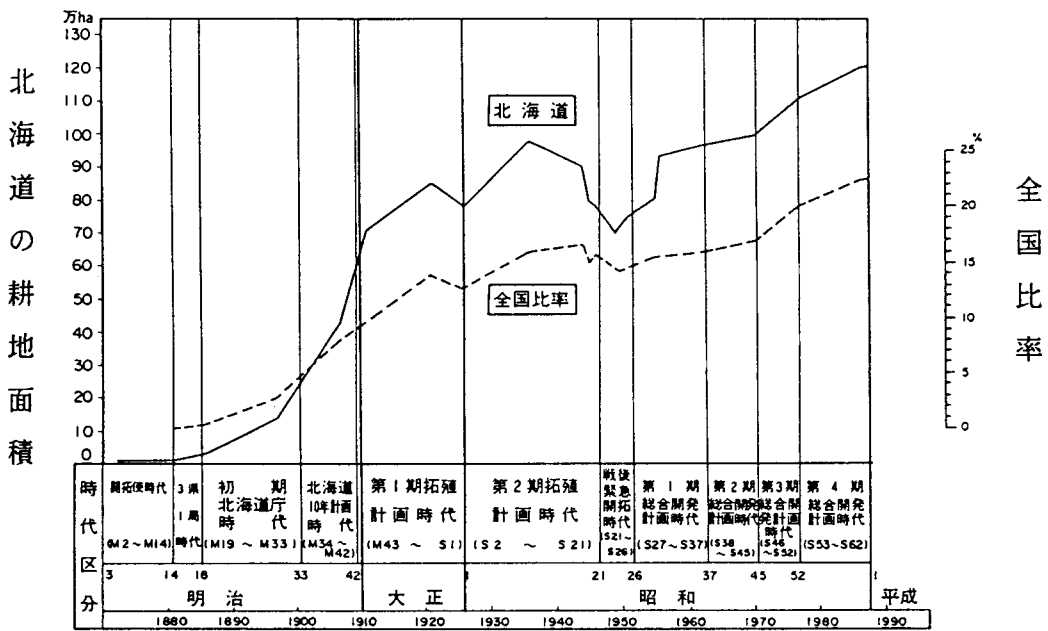
ここでは、農業の側面から北海道の開拓の歴史を振り返ってみる。北海道は大河川に沿って平坦地がひろがり、いずれの流域でも泥炭地が発達している。このような土地を拓くにあたっては、まず排水を主とする河川改修と

土地改良が施されなければならなかった。泥炭地開発につづいて火山灰地、重粘地など、特殊土壌地帯の改良に事業は発展していった。

開拓使時代・3県1局時代が、西洋の農業技術を取り入れて開拓を進めていく試験時期であり、次の初期北海道庁・北海道10年計画時代は、いよいよ本格的に農業開発が進められてきた時期といえる。

開拓使は、明治2年に設置され、明治15年、開拓使10年計画が終了して後廃止された。その間、石狩平野の開拓、札幌農学校の設立（明治8年）、屯田兵例則を制定（明治7年）した。明治19年北海道庁が設置され、道路・鉄道などの交通網整備ならびに、殖民区画の制定など、農業を基盤とした開拓が本格化した。明治31年に生じた、石狩川など各地の河川大氾濫は、時の為政者に北海道開拓における治水の重要性を痛感せしめ、明治34年の北海道10年計画において石狩川をはじめとする10大河川の調査ならびに浚渫計画が樹立された。

明治43年には、第1期拓殖計画が発足し、この時より石狩川をはじめとして釧路川、十勝川などの治水工事が開始された。1期拓殖計画は、17年にわたって継続されたが、造田開発の趣が強く、大正末期にそのピークをむかえた。



図－1 北海道の耕地面積の推移

しかし昭和6年以来、4ヶ年にわたる連続した冷害凶作がこの造田熱を急速に冷却させた。従って、第2期拓殖計画では開拓入植の政策を打ちきるとともに、それまでの一途な水田造成を反省し、開拓使時代に指向した家畜導入の畑作経営を再び取り入れようとしたことが、この時期の特徴といえる。

第2期拓殖計画は、20ヶ年にわたる長期計画であったが、この間第2次世界大戦の勃発などによって、さらに食糧増産計画の強化がなされ、開拓事業より増産即効性のある既墾地に対する土地改良に農業政策の重点をおくようになった。

その後、北海道の拓殖計画予算も軍事費の膨張によって昭和18年以降その財源措置がとられなくなるが、独自に「北海道土地改良5ヶ年計画」を樹て、本州の食糧増産対策事業に呼応するかたちで進展していった。

この計画の実施中に終戦を迎えることになるが、戦後の国内事情は尚一層の耕地拡張、土地改良を必要とし、昭和21年にはあらためて未墾地開発、入植を目標とする緊急開拓事業が発足する。

その後、昭和27年には第1期北海道総合開発計画第1次5ヶ年計画が発足、さらに昭和33年には第2次5ヶ年計画、昭和38年には第2期北海道総合開発計画が発足し、既墾地に対する計画継続とともに、北海道の土地改良事業はまさに飛躍的な発展をとげ、そして現在、耕地面積120万ha余の農業生産基盤を築きあげるまでになっている。

1-2 北海道農業の概況²⁾

本道の総土地面積は、834万1千haで、このうち「農業振興地域」の面積は平成2年3月末現在で206市町村、296万6千haとなっており総土地面積の35.0%を占めている。

北海道の耕地面積は微増傾向をつづけ、平成2年8月現在では120万9,000haであるが、都府県において耕地のかい廃の進行に伴う耕地面積の減少傾向が続いていることから、その全国シェアは年々高まっている。(表-1)

北海道は東北6県に新潟県を加えた面積を有し、地形的にも東西南北に広がりをもっているため各地で様々な農業が展開されている。

例えば道南では温暖な気候を生かした米、野菜、畑作物などの集約的農業が

表－１ 耕地面積の推移

(単位：千ha、％)

区 分	耕 地 面 積					増減率(年平均)			
	50年	55	60	元	2	50～55	55～60	60～元	元～2
耕 地 計 (全国シェア(％))	1,076.0 (19.3)	1,110.0 (20.9)	1,185.0 (22.0)	1,207.0 (22.9)	1,209.0 (23.1)	1.2	0.8	0.5	0.2
田	276.2	267.4	258.1	244.5	243.1	▲0.6	▲0.7	▲1.3	▲0.6
畑	799.6	872.2	926.8	962.5	965.7	1.7	1.2	1.0	0.3
普通畑	413.1	405.8	426.4	440.8	438.7	▲0.4	1.0	0.8	▲0.5
樹園地	6.5	4.9	4.1	4.1	4.0	▲5.2	▲2.5	▲1.3	▲2.9
牧草地	380.2	461.6	496.1	517.5	523.0	4.0	1.5	1.1	1.1

資料：農林水産省「耕地面積調査」

中心に営まれており、道央では豊富な水資源と比較的高温となる夏季の気候を利用した米や野菜などを主体とした生産が行われている。

また、道東・道北では広大な農地や丘陵を生かしたＥＣ水準に匹敵する大規模機械化畑作経営や、大規模酪農経営が展開されている。

ちなみに平成２年の本道の１戸当たり経営耕地面積は１０．８haとなっており、都府県平均０．９haの約１２倍となっている。また、１戸当たりの水稻作付面積は都府県の６．２倍、乳用牛の飼養頭数では２．３倍、肉用牛では６．０倍となっており、都府県に比べ規模の大きな経営状況となっている。（表－２）

表－２ 都府県と本道農業の比較

区 分	単位	北海道 A	都府県 B	倍率 A／B
経営耕地面積(戸当たり)	ha	10.8	0.9	12.0
水稻作付面積(")	ha	3.3	0.6	5.5
乳用牛飼養頭数(")	頭	56.5	25.1	2.3
肉用牛飼養頭数(")	頭	63.1	10.6	6.0
基幹的農業従事者(販売農家)のうち50歳未満の割合	％	47.6	25.4	1.9

資料：農林水産省「農業センサス」、「畜産基本調査」

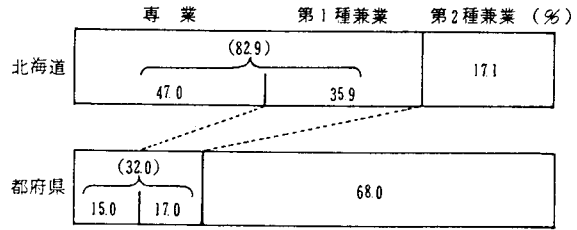
注：水稻作付面積は元年の数値

次に農業就業構造を見ると、まず専兼別の農家戸数比率は、図－２に示すように主業農家（専業農家＋第１種兼業農家）の割合が大部分を占め、都府県の３２％に対し８２．９％となっている。また、農家所得に占める農業所得の割合（農業依存度）についても都府県の１６．５％に対し７０．５％となってお

り、一般的に農業地帯といわれている東北や九州に比べても非常に高い割合となっている（図－３平成元年度）

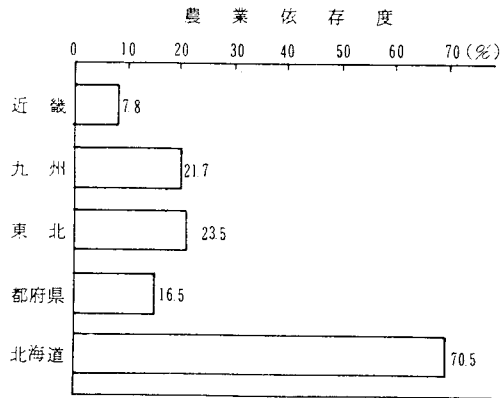
販売農家の農業就業人口を年齢階層別に見ると、２９歳以下では５年前に比べ３０％以上の減少率となっているのに対し、６０歳以上では、逆に増加の傾向を示している。

この結果、農業就業人口に占める６０歳以上層の割合は３３．２％となり都府県に比べるとまだ、若い専門的なプロ農家が本道農業を担っているとはいえるものの、高齢化現象は着実に進んでいるものといえよう。



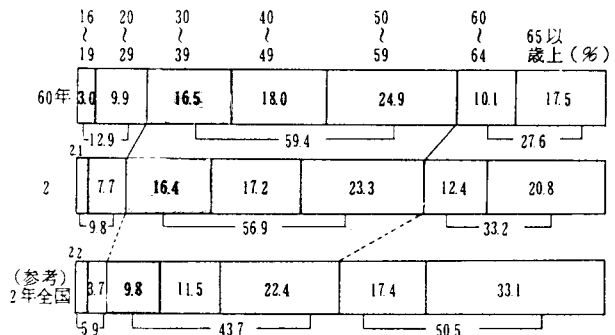
資料：農林水産省「農業センサス」
注：第１種兼業農家～農業を主とする兼業農家
第２種兼業農家～兼業を主とする兼業農家

図－２ 専兼別農家戸数比率の比較
〔販売農家〕（２年）



資料：農林水産省「農家経済調査」
注：農業依存度＝〔農業所得／農家所得〕× 100

図－３ 農業地域別の農業依存度の比較



資料：農林水産省「農業センサス」

図－４ 農業就業人口（販売農家）
の年齢階層別構成比

本道農業は、水田面積の約50%にも及ぶ大幅な転作や主要作物及び牛乳の計画生産の実施など、スケールメリットが十分に発揮できない厳しい生活環境下にあるにもかかわらず、生産コストは着実に低下しており、主要作物の第2次生産費の推移を見ると図-5に示す様に都府県との差が次第に拡大しており農業者をはじめとする関係者の努力が窺える。

次に本道における農業粗生産額の構成比の推移を見ると昭和40年には40%近くを占めていた米が転作の実施により平成元年には18.2%と半減しているのに対し、乳用牛は2倍に、肉用牛は2.1倍になっており、全体に占める畜産部門のウェイトが高くなっている。

また、畑作物や野菜についても作況や作目の移り変わりにより変動はあるものの、粗生産額の40%近くを占めるに至っている。

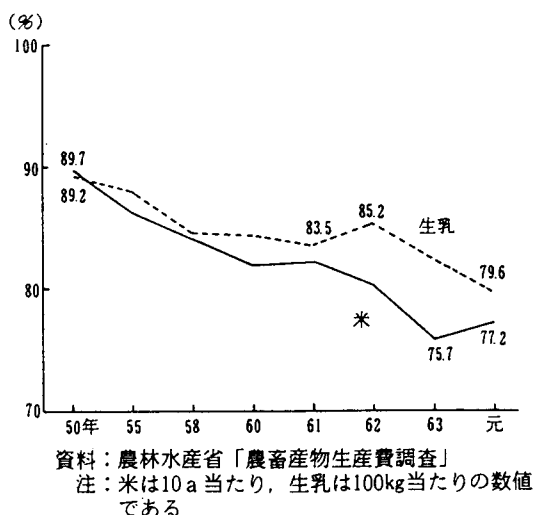


図-5 主要作物の第2次生産費
(都府県を100とした場合の本道の割合)

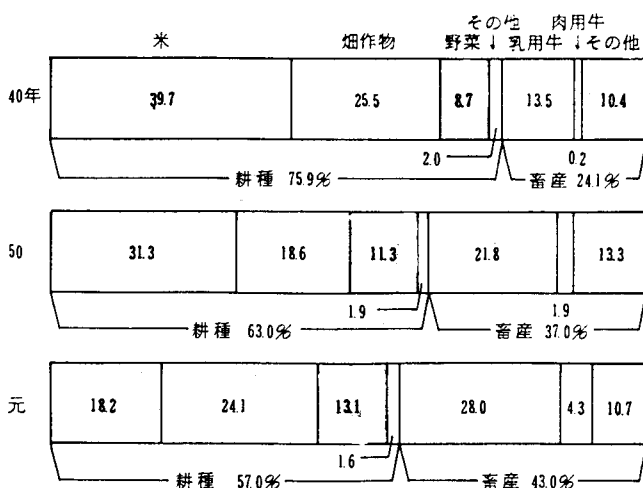
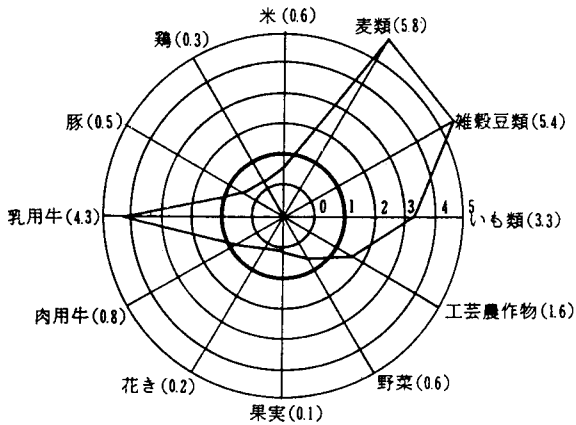


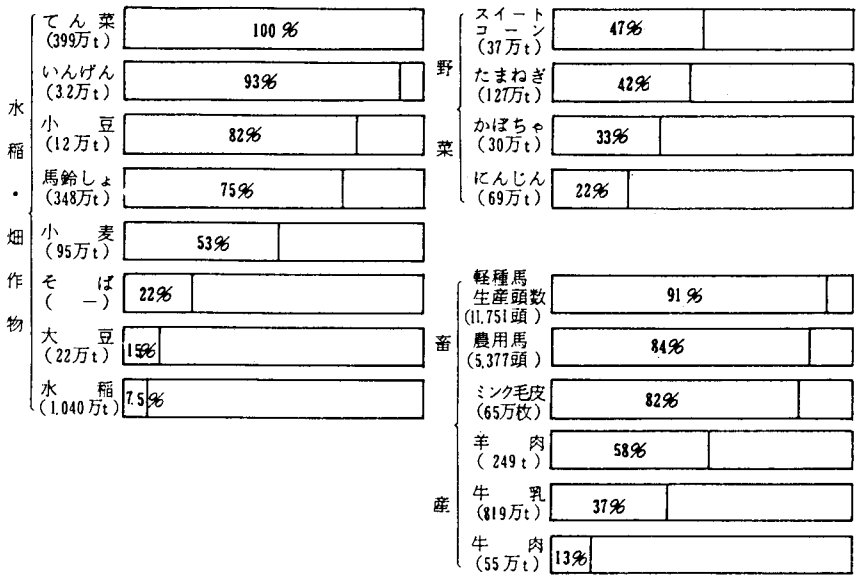
図-6 農業粗生産額構成比の推移

本道の農業粗生産額の構成比を都府県と比較して、特化係数で示したものが図－7であり、これによれば果実及び花キ、中小家畜などの施設型農業部門の



資料：農林水産省「生産農業所得統計」
注：特化係数＝本道の区分構成比÷都府県の区分構成比

図－7 農業粗生産額の部門別特化係数 (元年)



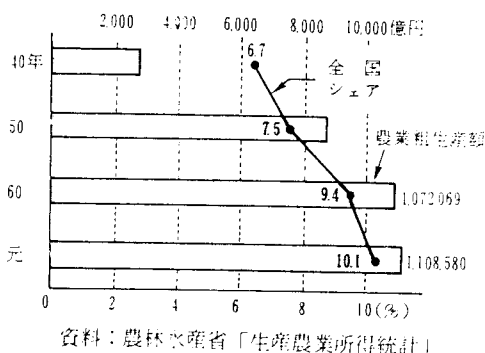
資料：農林水産省「作物統計」「食肉流通統計」，「牛乳乳製品統計」
日本馬事協会調べ
注：1) ()内は、全国の生産数量
2) 野菜及び軽種馬・農用馬は元年の値

図－8 生産量が全国1位の農産物の本道シェア

ウェイトが都府県に比べて低い反面、広大な土地資源を活用した畑作や、酪農など土地利用型農家のウェイトが高いことがわかる。

また、図－８は生産量が第１位の農産物について、そのシェアを見たものであり、これをみても本道が我が国最大の食糧生産基地となっていることが示される。

平成元年における本道の農業粗生産額は、麦類、いも類、てん菜、豚などが減少したものの、米、豆類、野菜、乳用牛、肉用牛で増加が見られ、全体では全国第１位の１兆１，０８６億円となっている。全国の農業生産額に占める本道のシェアは、年々増加しており、近年は１０％を超える状況で推移している。（図－９）



図－９ 本道における農業粗生産額の推移

２ 北海道の土壌侵食

ここでは、農地保全の対象とする土壌侵食について、北海道の自然条件と関連させ、その概要と特徴について述べる。

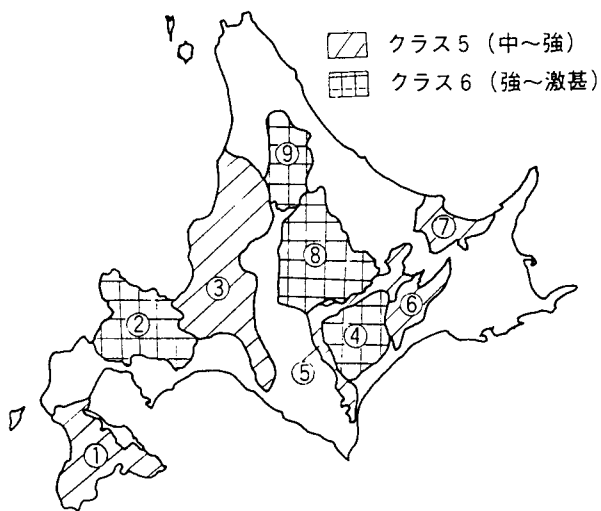
２－１ 土壌侵食の実態^{3) 4)}

北海道における土壌侵食の発生する地域や条件は表のようにまとめられる。道南や道央の傾斜地では、春先の融雪時期や夏・秋の多雨時に水食の発生がみられる。道東においては、春先の融凍・融雪時に水食がみられ、また軽やかな火山性土壌地帯においては春先に風食の発生がみられる。

表－３ 北海道における土壌侵食の種類 （菊地、１９８７）

侵食の種類		気象条件	土壌条件	地形条件	農業形態	地域			
						道南	道央	道東	道北
水食	融雪 降雨	多雪 多雨	火山性土 ～非火山性土	傾斜	畑作	◎	◎	○	○
	融凍	冬季積雪少 気温低	火山性土	緩傾斜 ～傾斜	畑作			◎	
風食		春期降水少 吹風強	火山性土	平坦 ～傾斜	畑作			◎	

土壌侵食は、急激な農地の荒廃をもたらすガリ型の侵食を別にすれば、土壌侵食による農地の生産性の低下はゆっくりと進行する。このため、具体的症状が現れにくく、対策が後手にまわりやすい。これに対応するため、西潟（１９６３）、佐久間（１９８４）により北海道の土壌侵食予察図が作成されている。佐久間の土壌侵食予察図は、西潟のものを参照し、水文・気象特性・地形・表層地質および土壌、土地利用の現状を検討し作成され、侵食の程度を弱い方から１～６までに分類し、侵食程度の強いクラス５、６（中～激甚）の地域として、①渡島・檜山地域、②後志火山地域、③石狩・空知地域、④十勝平野中央部、⑤十勝平野周辺部、⑥豊頃・白糠丘陵、⑦網走南部地域、⑧大雪山地周辺地域、⑨上川北部地域、があげられている。これらは自然条件や土地利用、営農条件の差はあるものの、いずれも農地保全に十分な配慮がもとめられている地域である。



2-2 積雪寒冷地域での特徴 (融雪・融凍期の侵食)⁵⁾

北海道では、春先の融雪・融凍期には傾斜農地において侵食・崩壊・流亡が生じるなど、積雪寒冷地域特有の農地保全上の問題がある。これは道東など特に地盤凍結地域で顕著である。その他の地域においても融雪時の圃場・気象条件次第では問題となる場合が多い。

この地盤の凍結現象にかかわる土壌侵食は、次のように説明される。まず、気温の低下にともない地盤が凍結するに際し、下方より水分を吸い上げる。その結果、地表付近には多量の自由水が存在することになる。春先の融解期には、凍結層の上、下方より融解しはじめるが、上方からの融解速度のほうが大きいいため、ある期間地中に凍結層が残存するかたちとなる。そして凍結層は難透水性であるため、表層部の過剰な融凍水は地下へ侵入できず、傾斜に沿って流下する。これに融雪水や降雨が加われば、表土の流亡が促進されることになる。同じ寒冷地でも、積雪量の多い地域は地盤凍結が少ないため、上記のような様相を呈することは少ない。

表-4 地盤の凍結～融解時期における保全上の問題

区 分	緩傾斜圃場面	急 傾 斜 部 〔急傾斜圃場、 切・盛土法面〕
凍 結 期	問題なし	特に問題なし
融 解 途 次 (地中に凍土層)	融凍・融雪水による水食	融凍・融雪水による強い侵食 張芝の滑落 法面の崩壊
融 解 後	全く問題なし (但し風食問題は残る)	土自体の強度低下による崩落現象 (ソリフラクション)が続く

2-3 風食³⁾

北海道の風食被害は主に春先の5月～6月頃にかけて、十勝地域や網走から斜里にかけての斜網地域の軽しような火山性土の畑作地帯で発生している。この時期は畑作物の作付直後であるため、風食による作物被害は、種子の飛散と埋没、根の洗堀、茎葉の損傷などの形であらわれる。茎葉の損傷は飛土によるものばかりでなく、てんさいの苗のように柔らかい作物では地面にたたきつけられることによる傷や、茎のねじれ、ペーパーポット縁による切断など様々である。また、養肥分に富む肥沃な作土の消失は、地力の低下につながっている。

風食防止対策としては、１）土壌表面の処理、２）風速の抑制、３）土壌水分の増大、が考えられるが、一般には防風林や防風ネット設置による風速の抑制策がとられている。風食の多発地帯には防風林が多く設置されていたが、圃場区画の拡大、機械営農の効率化などにより、防風林の伐採が多くみられる。適切な防風林帯の確保と計画的更新、維持管理が指摘されている。さらに最近では防風林の景観的評価からも保全・造成のうごきもみられる。

３ 北海道における農地保全

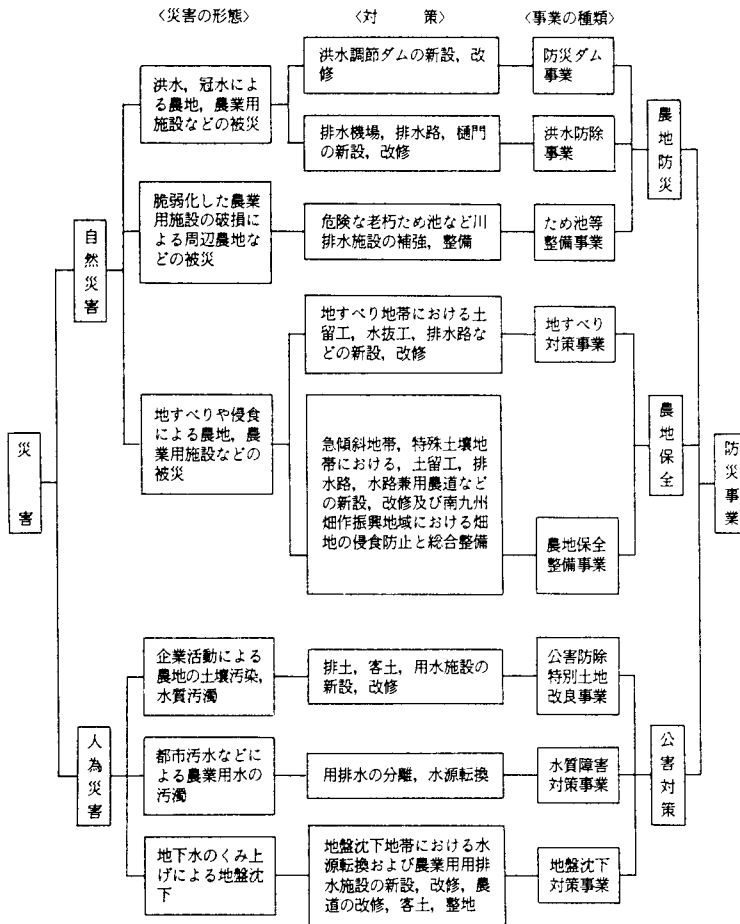
農地保全のための事業は、農業農村整備事業のうち、農業生産基盤整備、農村整備、と合わせて３本の柱の１つである農地等保安全管理に位置づけられている。農地等保安全管理は、農用地、農業施設の災害を未然に防止する農地の防災保全のほか、施設の適正な管理を行うことを目的とした整備補修や管理技術の向上が含まれる。

ここでは、農地の防災保全にかかわる事業、すなわち農地防災事業、農地保全事業、公害対策事業のうち主に農地保全事業について道営事業を中心として、その概要について述べる。また、農地保全とかかわりの深い、畑地帯総合土地改良事業の層厚調整工についてふれる。

３－１ 農地保全整備事業⁴⁾

昭和２４年の台風に伴う豪雨に起因して南九州の特殊土壌地帯や西日本の急傾斜地に発生した大災害を契機として、農地の侵食対策事業が昭和２５年に創設され、その後、地域的な特殊性に対応しながら新設、統合を経て、昭和５７年に農地保全整備事業に統一され現在にいたっている。

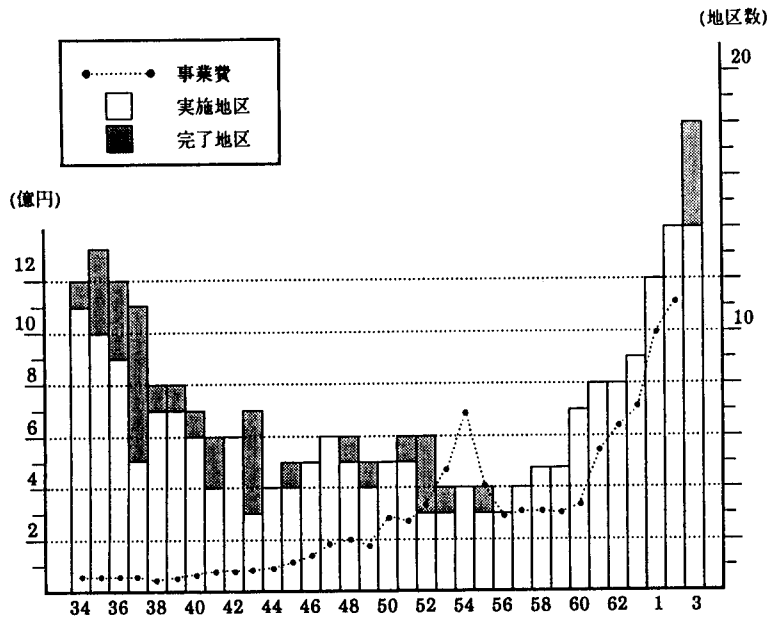
北海道では、上川および網走支庁管内の火山灰性土壌地帯における侵食対策の必要性から、昭和２８年に本道を対象とした「土壌侵食防止事業」が新設され、制度的には農地保全整備事業に統合され今日にいたっている。昭和３４年度、上川・網走支庁管内の１２地区で事業が実施されて以来、後志、渡島、胆振および十勝支庁管内などの水食に悩む畑作地帯においても実施されており、地域の農業経営の安定に貢献している。平成３年度実施は１８地区、事業費（平成２年度）は１１億円におよんでいる。



図－１１ 予想される災害の形態とその対策

事業内容についてみると、本道では従来、承水路、集水路、排水路などの本工事のみを実施してきたが、近年の事業採択地区は関連工事として農道、水兼農道の計画を取り入れることが多くなっている。

また、排除工事は、本州、九州地方にみられる不良土層の排除、沖縄、奄美地方におけるさんご礁の排除とならび、主に北海道では耕土内の石礫除去工事として実施されている。耕土内の石礫の含有率が高く、かつ粒径が大きい場合は、耕作機械の導入が困難であり、また機械作業を実施しても、摩耗、曲折、折損が著しく、作業能率の低化、生産コストの不利を招く。加えて、根菜類の作付に悪影響を及ぼすものである。十勝支庁管内や上川支庁南部地域において、



図一 1 2 農地保全整備事業実施の推移（事業地区数と事業費）

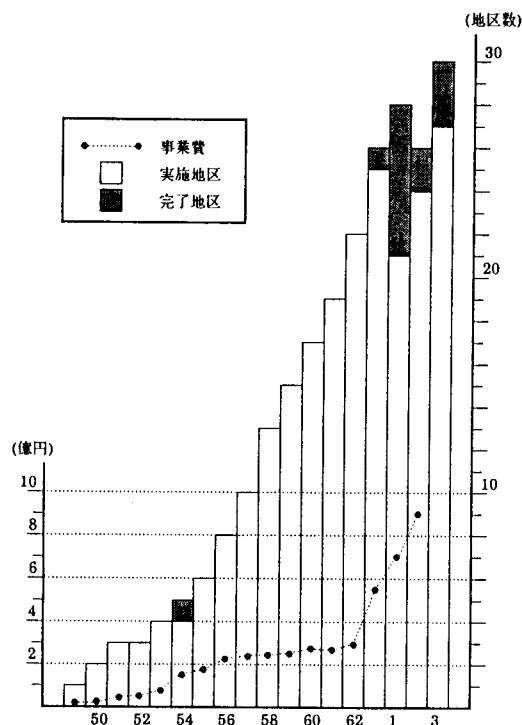
この状況が顕著である。現在この石礫除去工事は、耕作者の要望と事業の必要性から、道営畑総事業、土地改良総合事業等においても実施されてきているが、施工の難しさから、工事費の高価な点が問題となっており、今後の施工機械の改良等による工事費の低減がもとめられている。

3-2 地すべり対策事業

農地保全にかかわる地すべり対策事業は、構造改善局長が所管する地すべり防止地区に指定された地域を対象として実施される。北海道においては、昭和49年以来、全道で41地区が実施され、うち空知16地区のほかは上川、檜山、釧路、留萌で実施されている。空知支庁管内では石狩川流域、夕張山脈西側の新第三系の堆積岩からなる地域が地すべり多発地帯となっている。

工事内容は、現在北海道においては地すべり対策事業のうち防止工事として、地すべり活動を防止またはその原因を除去するために伴う地表水排除工、地下水排除工、杭打抑止工などである。

図一 1 3 地すべり対策事業
実施の推移



3-3 畑総事業における層厚調整³⁾⁶⁾

畑地帯総合土地改良事業は、昭和43年の制度創設以来、北海道における畑作地帯における総合土地改良事業として、畑地帯の基盤整備の向上に大きく寄与してきた。明渠排水など9工種の事業内容の中で、今まで、農道、排水、区画整理事業を中心にすすめられてきたが、今後は畑地かんがい事業の拡大が期待されている。区画整理の事業量は平成2年までで約1万3千haである。

北海道の区画整理事業は、換地計画をとともわず傾斜勾配の緩和、排根線の除去、小沢の埋め立てによる土地の区画形質の変更により適正な圃場形成をはかるものである。これは、本道の畑作地帯の戸当たり面積が大きく飛地が少ない土地所有であることと、それにもかかわらず急傾斜、小沢等により圃場が分断され一連の機械化農作業の支障となっていることによる。

また、北海道の主要な畑地帯の多くは開墾の容易な火山性土地帯であり、開拓されてから半世紀以上を経過した圃場も多い。この傾斜畑では土層の厚さは稜線部で極めて薄く、低地にむかって急速に作土が厚くなっている。これは、

長年の耕起碎土作業などの農作業による作土の下方おくりと土壌侵食とによる。これらの傾斜畑では傾斜改良を行うと同時に、表土扱いにより表土を均一にまき戻す層厚調整工の実施がもとめられている。

本道の畑作耕地面積は約95万haであり、そのうち傾斜度8°以上の要改良面積は約10数万haにのぼると見込まれている。本事業実施地区では、大型作業機械の導入による生産性向上、機械作業時の安全性、農地保全の見地から大きな効果をあげている。一方、事業対象地区の多くが地形、土壌、気象条件などいずれも農地保全上厳しい条件下にあり、さらに殖民区画を基本とした土地所有にもよる圃場長辺の長大化と大規模に耕地基盤を切盛することによる圃場の不安定性など、農地保全上技術的対応を必要とする地区も多い。

4 最近の話題

ここでは、農地保全にかかわる最近の話題を幾つか紹介する。

農地からの土壌流亡は、肥沃な作土の流失をまねくばかりではなく、その地区外流出は水系の環境にも影響を与える。これらの把握のため、網走支庁管内の火山性土壌の傾斜畑2ヶ所においてUSLE標準枠に準拠する試験枠を含み、3傾斜試験区を設け、平成元年度より土壌流亡量の観測を行っている。国営では、空支庁知管内北雨地区、後志支庁管内南後志地区等数ヶ所でUSLE標準枠試験を実施しているが、全道的、土壌タイプからみれば観測例は多くない。今後とも、土壌流亡にかかわる基礎的調査・観測の積み上げが重要である。

傾斜畑の勾配修正や農地造成における改良山成工によって生じる大規模な切土、盛土法面についてその農地保全、有効活用、農村景観形成の視点から植栽・緑化の検討、試験施工が北海道のモデル事業として始まっている。網走支庁管内の試験区では盛土法面にライラックなど、見た目も美しく土地を所有する農家の収入も期待される樹種を植栽、切土法面では、ナツヅタ、ハンノキなどを植栽している。切土法面では勾配が45°と急で、また土壌は粗粒火山灰であり植栽環境条件は悪く、試験経過をみながら現場条件に適する樹種、工法を決定していく予定である。

近年、防風林が農村景観形成の視点から景観林として評価されてきている。十勝、斜網地域を代表とする風害常しゅう地帯に造成された耕地防風林は、機

械化対応、圃場区画拡大などにより伐採が多くみられた。良く管理された防風林の農地・作物保全効果は、日陰などによるマイナスを上まわるものであり、特に、地域的に組織的に計画された防風林組織はより大きな効果を生む。農村の景観形成、環境保全に防風林は緑のネットワークの主要な要素となるものであり、防風林のデメリットを減ずる方策、地域的な計画と住民合意、更新を含めた適切な維持管理がもとめられている。また水田地帯においては空知支庁管内北村では防風林愛護組合の組織化による管理や、長沼町では町全体構想・計画の立案などが進んでいる。

5 今後の農地保全の方向

傾斜畑からの土壌侵食とそれにとまう農地災害の防止を主たる対象として発展してきた農地保全にかかわる研究、技術、事業対応も、土壌、農用地の保全はもちろんのこと、地域環境や農村空間の保全までも含めて検討する新たな展開の時期をむかえている。

土壌侵食については、北海道においては積雪寒冷地と大区画圃場という条件下においての調査・研究がなされ、その成果も集積しつつあるが、これは気象・土壌・土地利用などの特質が強く反映されるため、地域に適した保全対策の確立には、さらに各地域での調査・観測の積み重ね、充実が重要である。

土壌侵食を防止する対策としては、主として公共事業で行う土木的水食防止法と農家自身が営農で行う農法的水食防止法がある。土木的水食防止法すなわち施設対応のみでは限界があり、両者の組み合わせが基本であり効果的である。そのためにも、より維持管理の容易な施設の検討や、農家自身による日常の維持管理の普及などが必要である。また、土層改良や堆肥などの有機物の投入などは、土壌構造を改善し土壌侵食防止に寄与する。すなわち基本的な土づくり、圃場づくりは農地保全の基本でもあり、施設による対応のみならずこれらの普及と拡大や、農地保全としての位置づけ、事業対応も重要であろう。

また、今後地域営農とより密接に結びついた農地保全の方向も考えられる。北海道開発局開発土木研究所、秀島は、十分な農業用水の手当が難しい中山間地において、融雪水を農地近くの小規模水源施設に集水し、かんがい期に利用する方法を検討し、多雪な地域でありかつ直接流出量の割合が多い農地では、

この集水利用方法が有効であることを示している⁷⁾。これは、水の有効利用による地域営農展開への期待とあわせて、この小規模分散施設は地区内農地保全施設としても位置づけられ、さらに地区外環境への影響も軽減されるという複合効果をもつとみられる。このように新たな視点からの農地保全にかかわる事業対応も必要であろう。

さらに、北海道は食糧供給基地としての役割に加え、豊かな自然、農村空間を背景に訪れる人にもひらかれた地域づくりが期待されている。今後、農地の生産性の維持はもとより、農地・農村地域のもつ水源かん養、洪水調節、土砂流出防止などの国土保全機能に加え、農村地域の景観の保全、農地・自然生態系の保全までも含めた環境保全対応が重要となろう。このためには、地域空間としての保全整備手法の検討や、流域圏環境管理手法の検討が必要であろう⁸⁾。

厳しい自然環境を克服し続けられた土地改良と農業者による長い間の営為によってつくられ持続してきた農地と農村を、次の世代によりよい環境のもとに持続、継承、発展していくことが、農地保全の役割と考える。

おわりに

以上、北海道における農地保全対策について、道営事業を主体にその概要と、今後の方向について述べた。この報文をまとめるにあたり、以下の文献を引用・参考とさせて頂いた。ここに記して謝意を表する。

引用・参考文献

- 1) 北海道農業土木史編集委員会：北海道農業土木史，1984
- 2) 北海道農政部：北海道農業の動向（平成2年度），1991
- 3) 石渡輝夫：北海道の土壌と農地保全上の課題，農地保全の研究，1990
- 4) 農業土木新聞社：北海道の農地防災，1986
- 5) 長沢徹明：積雪寒冷地域の農地保全，農地保全の研究11，1990
- 6) 北海道農地開発部監修：北海道の畑地改良、農業土木新聞社，1984
- 7) 北海道開発局開発土木研究所：開墾畑地における融雪水の流出解析と灌漑利用可能量の検討，中山間地に位置する農地の営農用水源に関する研究Ⅱ
- 8) 梅田安治・野本健：農地・農村の景観，農業土木新聞社，1990

渡島管内における農地保全上の施工例

北海道渡島支庁農業振興部

吉牟礼 康男

I. はじめに

渡島地方は、北海道が蝦夷地と呼ばれていた頃から和人との間に交易が行われていたが、文治5年（1189年）奥州藤原氏の残党が津軽海峡を渡ってこの地に逃れて来たのが和人移住のはじめといわれている。当時、津軽海峡を渡ってくる人々をワタリトウ（渡党）、ワタリシマ（渡島）、コシノワタリシマ（越渡島）などと呼んでいたところから、オシマ（渡島）の名が始まったということである。

管内は、北海道の南端に位置し、東は太平洋に臨み、南北に細長い地域であるが総土地面積は約37万1,500 haで、うち農用地面積は 7.6%約 2万8,100 haを占めている。管内の南部地域は比較的温暖な気候で、平均気温は8～9℃になり農耕期間は道内では長い。年間降雨量は1,100 ～ 1,400mmで夏に多く、湿度も高く、日照時間は春秋に多い。農業は野菜の作付が多く、その他、米、馬鈴薯などが生産されている。

一方、北部地域は、春から秋にかけて海霧が発生し、冷涼となる。農地は泥炭土等特殊土壌が分布しているので生産力が低く、酪農を主体とした農業が行われている。

ここで紹介するのは、農地保全の問題を農地の土壌侵食防止の面ばかりでなく『国土の保全機能や環境の保全』を含めて広義にとらえ、管内で道営事業により実施されている農地防災事業（表-1）に関連して、農地保全対策上の施工例について触れていく。

農地を災害から守るためには、個々にやるよりも地域的に取組むことが必要であり、そのため国の制度によるところが大きい。平成3年度から国の土地基盤関係予算が『農業基盤整備費』から『農業農村整備費』に名称変更され内容も大幅に再編されたことに伴って、農地防災事業には『単に農地や農業施設を

直接災害から守る』という一面だけでなく、『地域の環境、空間を保全する』という役割が一層求められており、これらを担う農地保全の問題は、これからの重要な課題となってきた。

渡島管内で実施している農地防災事業（表-1）

事業の内容	事業の種類	地区名
急傾斜地などの侵食による農地の被災	農地保全整備事業	中の沢、鳴川、大川
洪水による農地、農業用施設等の被災	防災ダム事業	濁川、南部坂
都市汚水等による農業用水の汚濁	水質障害対策事業	南大野
高潮、津波、侵食等による海岸周辺農地の被災	海岸保全施設整備事業	花浦、沼尻、知内
脆弱化した農業用施設等の破損による農地の被災	ため池等整備事業	前浜、瓜谷、米原

Ⅱ．渡島の気候と土壌

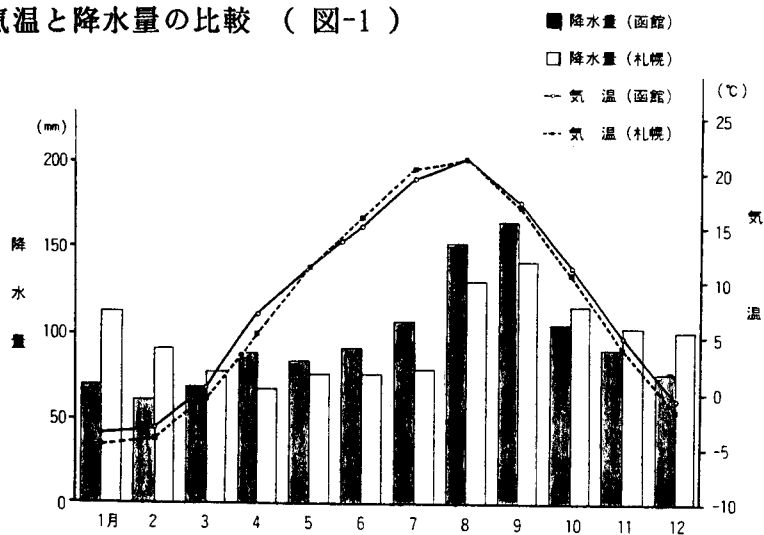
管内の気候の特徴は、札幌地方の気温と降水量を比較してみると、気温は秋から春にかけて比較的温暖に推移しているが、6～8月にかけてヤマセ（偏東風）の影響で冷涼となり、農作物に悪影響を及ぼすことがある。（図-1）

また降水量は、冬から春にかけて少なく、夏から秋にかけてまとまって降る場合が多い。

一方、地質、土壌は、主として新第三系の堆積岩類からなり、一部に火成岩の併入によるやや急峻な山地が見られ、大野平野と、その周辺に少しまとまった農耕地としての土地利用が見られるほか、沿岸部の段丘地や中小河川流域の低地に農耕地が散在する。

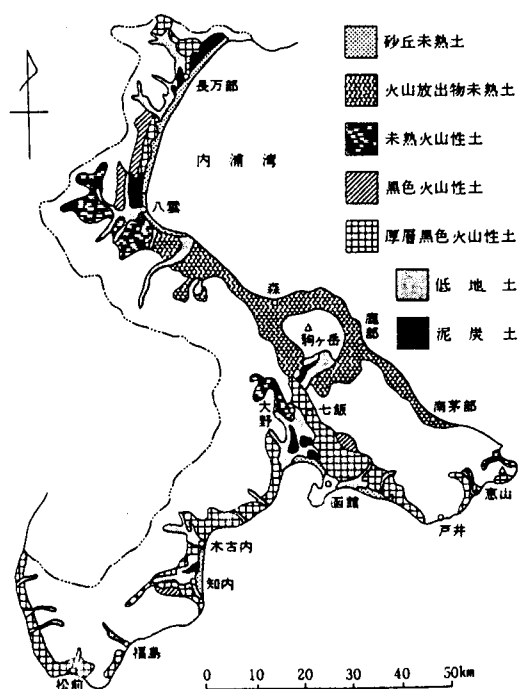
農耕地の土壌は、表層に駒ヶ岳の噴出による未熟火山灰、ローム質火山灰が堆積し、その下部に段丘堆積物、新第三系堆積岩風化物がくるタイプが大部分で、元来耐水食性はあまり大きくない。

気温と降水量の比較 (図-1)



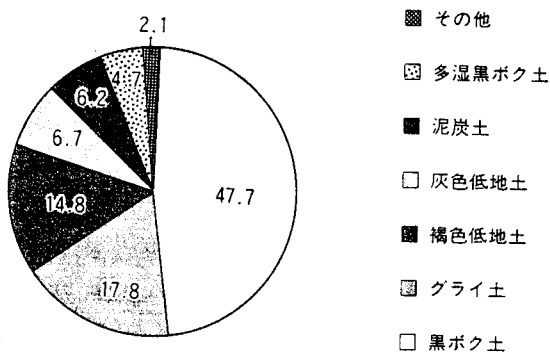
資料：札幌管区気象台

渡島管の土壌分布 (図-2)



資料：農林水産省北海道農業試験場

土壌の分布状況 (図-3)



資料：道立中央農業試験場

低地部は、その大部分が水田として利用され、侵食はほとんど認められない。

気候的には褐色森林土の出現する地域に属しているが、農牧適地の台地、段丘地は火山灰に厚く覆われて

おり、褐色森林土は農牧適地にほとんど分布していない。火山灰に覆われていない場所もあるが、その面積は火山性の土壌に比べてわずかである。

Ⅲ．農地保全上の施工例

位置図（図-4）

1．農地保全整備事業

農地防災事業として実施される農地保全整備事業は、水食に対して農地を守ることを主目的として実施されている。土壌侵食は、渡島管内の場合、春先の融雪時および夏から秋にかけての多雨時に水食の発生が見られる。管内では3地区で事業が実施されているが、この中で昭和58年度から着工している、中の沢地区を紹介する。

中の沢地区は、函館市北部の渡島平野東部丘陵台地に位置する畑作経営地帯で、同じく事業実施されている七飯町の、鳴川、大川地区と隣接している。こ

のあたりの標高は、100

～250 m、地形勾配は

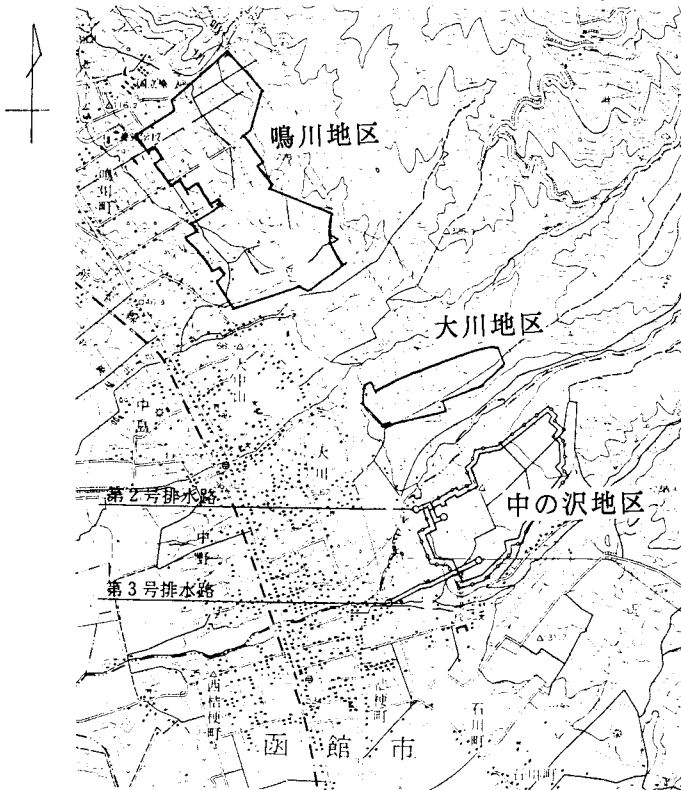
3～8 度が大部分で、台地の上部は 5度未満が多く標高 130 m～135 m 以下は 8度以上の傾斜地が多い。（表-2）

緩傾斜部は斜面長 400 m～450 m と長く、侵食が著しい。

平均傾斜度は、5.5 度

平均侵食度は、25.1% である。

農地保全整備事業 計画平面図（図-5）



傾斜と侵食度 （ 表-2 ）

傾 斜	傾 斜 度	0 ～ 3°	3° ～ 8°	8° ～ 15°	15° ～ 20°	20° 以上	計
	面 積 ㎡	13.2	88.8	16.3	—	—	118.3
侵 食	割 合 %	11.2	75.1	13.7	—	—	100.0
	侵 食 度	0	0～25%	25～50%	50%以上	ガリー中程度	ガリー大なるもの
	面 積 ㎡	—	66.7	50.2	1.4	28.0	—
	割 合 %	—	56.4	42.5	1.1	23.7	—

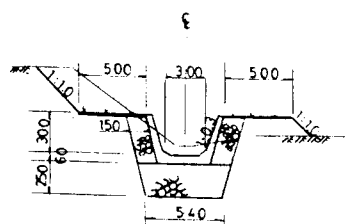
地質と土壌は、前に触れたように新第三紀の安山岩の上に洪積世堆積ロームが下層土を形成している。表層は新規および埋没腐食層火山灰から成っており、厚層多腐食質黒ボク土に属し、駒ヶ岳の噴出物主体の火山灰である。これらの特徴は、軽しょう粘着性に乏しく、粉状～小粉塊状の構造を呈し、保水力は極めて大きく、耐水食性に乏しい。

地区内の被害状況は、表土厚の場合、近傍において 25 ～ 30 cmあるのに比較し、地区内の表土は 15 ～ 25 cmとなっており、平均 25 %程度の層状侵食を受けている。また、凹地においては、集水によりガリー侵食を起こし、その都度整地に労力を費やし境界排水、道路側溝に堆積した土をできるだけ耕地に還元している。更に、道路は流水により破壊され、毎年補修を繰り返している現況にある。

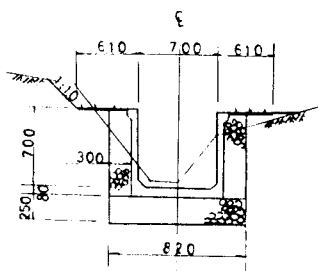
工事計画 （表-3）

所在地	北海道 函館市 桔梗町		
負担区分	本工事：国費 52.0 % 道費 33.0 % 地元 15.0 %		
	関 連：国費 50.0 % 道費 31.25% 地元 18.75%		
受益面積	田 115.0ha その他 3.0ha 合計 118.0ha		
工 期	昭和58年 ～ 平成 4年		
在 年 度	総事業費		
事 業 費	605,000 千円	平成 2年度まで 514,989 千円	平成 3年度以降 90,011 千円
幹線排水	979 m	979 m	—
集水路工	2,771 m	1,648 m	320 m
承水路工	6,473 m	3,773 m	2,770 m
水兼農道	888 m	888 m	—
関連排水	491 m	491 m	—

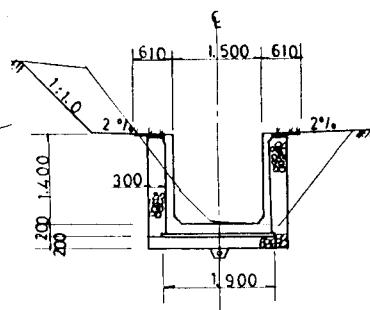
(図-6) 承水路



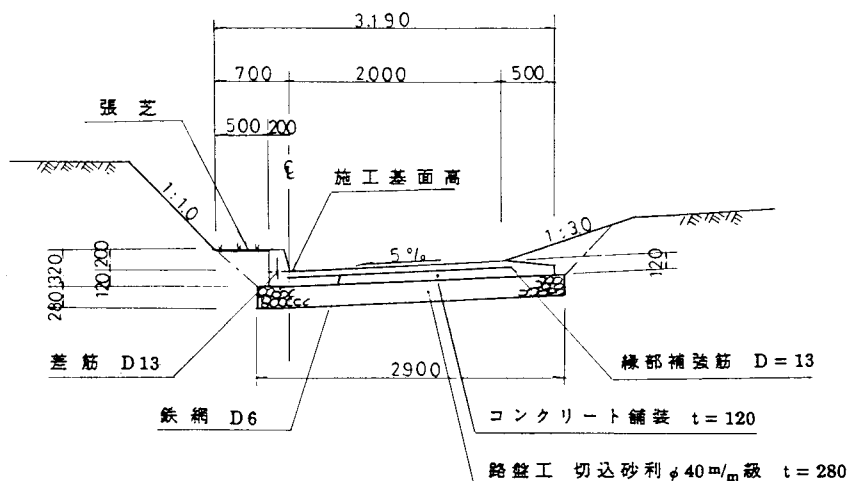
集水路



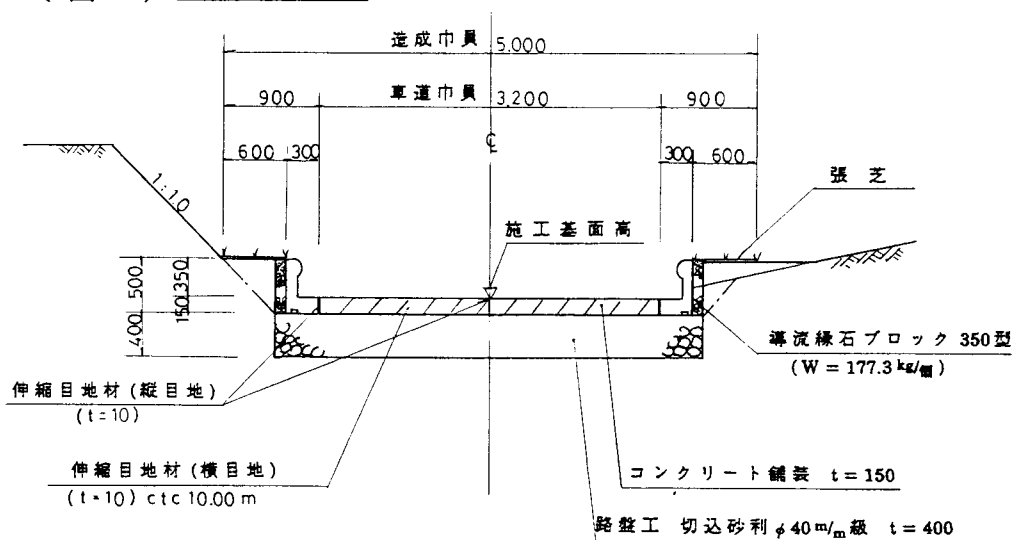
幹線排水路



(図-7) 広幅水路
(承水路)



(図-8) 水兼道路



工事内容は主に、承水路、集水路、幹線排水路など排水施設の整備である。承水路の間隔は、一般的にリルもしくはガリ侵食の起こり始める斜面長から求めるとされ、条件によって異なるが斜面長60～100mが多い。本地区の場合は概ね70～120mが多く、その理由としては、農作業の機械化が進んでいるため、農地を分断したくないという農家の要望が強いためである。承水路は、ほぼ等高線に沿って用地境界の上側斜面に設置している。これは基本的に、自分の土地に降った雨が下流の土地に被害を与えないようにするためであり、また融雪時期や降雨時には表土が流出して承水路に溜る訳であるが、農家はこれを少しでも集めて農地に還元したいため、境界排水としての性格を兼用させているといえる。

ここで本地区の承水路の特徴として、広幅水路について触れてみたい。承水路の構造は、急傾斜地においては一般的にはコンクリートトラフなどが使用されるが、表土が流出した場合、承水路の中に溜った土砂は人力で排出するしかない。また流入した土砂で水路が閉塞しないように日常の維持管理が非常に重要となる。これをトラクターのショベルを使って土砂をすくい取り、畑に戻し易くしたのが図-7の広幅水路である。これは普段は耕作道路として使っており、承水路の水兼農道型といえる。これにより長年表土流亡に苦しんできた農家にとって、大切な表土を簡単に畑に戻せるということで大層喜ばれている。

水食を防止する上で大事なことは、土木的には集中した水を安全に流すための水路を整備することであり、たとえば新しく農地を造成する場合には、ほ場の傾斜に配慮し、法面の植生保護や承水路の勾配を緩くすることなどが上げられる。しかし、既墾地の場合は必然的に現況に合わせた土木的対策となる場合が多く、自ずとその方法は限られてくる。その不足分を補うためには、そこに営農している農家自身が、等高線栽培や敷ワラ、敷草などによるマルチング、土壌改良や深耕といった努力が不可欠となってくる訳で、農家自身による栽培管理や施設の維持管理と、土木的手段が一体となった防災に対する意識が重要となってくる。そういう意味では農家自身が管理しやすい施設を作るということも大事な要素であるといえる。

本地区の事業は平成4年度の完了を見込んでおり、今後とも地域に適応した水食対策と、安定した生産基盤作りを目指していきたいと考えている。

2. 防災ダム事業

国土面積の小さい我が国の農耕地は中山間地帯にまでおよび、北海道においても例外ではない。北海道の河川は比較的流路が短く、地形的勾配も急峻な原始河川沿いに農地や集落が展開していることが多い。このような原始河川は、一般的に河川改修が遅れており、しばしば洪水を起こして周辺農地や農業用施設などに大きな被害を与えている。

洪水被害防止対策としては、河川改修によって洪水流量に対応できる河川断面を確保する方法と、ダムを設置して洪水調節をする方法とがあるが、こういった中山間地帯では、河川断面を確保するためには潰れ地となる農地が大きくなり、経済的には河川改修よりも洪水調節用のダムを設置した方が有利な場合がある。

このような場合にあって、農業被害が一般公共被害よりも大きな河川について河川管理者と協議して、農業側が洪水調節用ダムを設置するのがここで言う防災ダム事業である。

道内では10地区の防災ダムと2地区の防災ため池事業が計画、事業実施され、その中でダム1地区が完了しているが、渡島管内では2地区の防災ダム事業を実施中である。この中から昭和54年度に着工した堤高42mの中心遮水ゾーン型フィルダムである濁川ダムを紹介する。

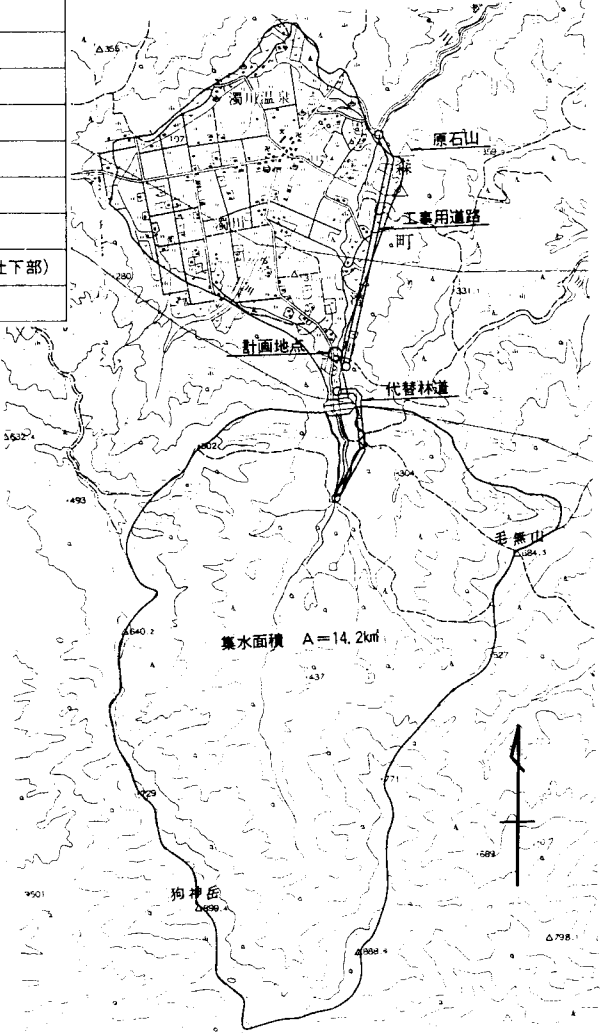
(1) 事業概要 (表-4)

所在地	北海道 茅部郡 森町 字濁川		
水系名	普通河川 濁川水系 澄川		
負担区分	国庫補助率 55 % 北海道 45 %		
受益面積	水田 334.0ha 畑 81.0ha 合計 415.0ha		
工事年度	昭和54年 ~ 平成11年		
事業費	総事業費	平成 2年度まで	平成 3年度以降
堤体	5,668,000 千円	2,968,774 千円	2,669,226 千円
洪水吐	450,000 m ³	32,000 m ³	418,000 m ³
調節工	320 m	—	320 m
付替道路	1 式	—	1 式
付対工路	1,400 m	1,118 m	282 m
仮排水路	1 式	1 式	1 式
	605 m	605 m	—

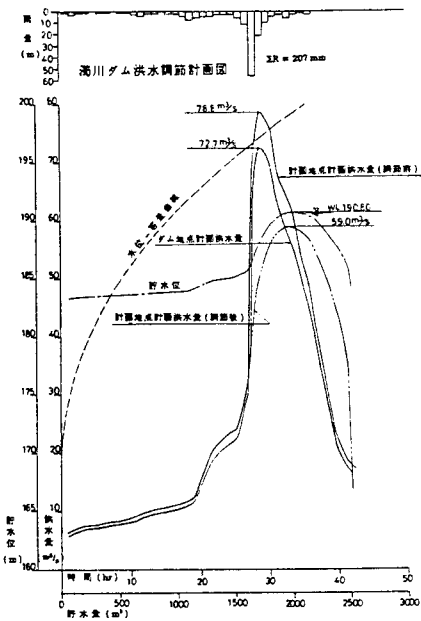
(2) ダム諸元 (表-5)

一般 貯水 池	位置	北海道 茅部郡 森町 字濁川	型式	標準馬蹄形 2r型
	基礎	新第三紀中新世八雲層の硬質頁岩	設計流量	1/10年確率 73m ³ /s
	流域面積	直接14.2km ² 間接0km ² 計14.2km ²	延長	右岸 403m
	満水面積	0.10km ²	内径	r = 1.6m
	総貯水量	1,048,000m ³	型式	中心遮水ゾーン型フィルダム
	有効貯水量	409,000m ³	堤高	42.0m
	堆砂量	639,000m ³ (750m ³ /km ² /年)	堤長	285.0m
	常時満水位	EL=186.50m	堤頂幅	6.45m (非越流部9.00m)
	計画堆砂位	EL=186.50m	天端標高	196.5m
	余裕高	hw+1+オーバートップング=1+1+0.88=2.88m	堤体積	450,000m ³
洪水 吐	利用水深	4.70m		
	型式	標準曲線型		
	設計洪水流量	A頂 303m ³ /S 森町地域特性係数による降雨強度式		
	設計洪水位	HWL=193.12m		
	サーチャージ	SWL=191.20m		
	越流水深	1.92m		
	越流堰長	55m		
緊急 放流	ゲート減勢工	強制跳水型 II型 L=35.00m		
	諸元	I型放水管 2.4m×2.4m 角型(洪水吐下部)		
	能力	54.3m ³ /s		

一般平面図 (図-9)



洪水調節計画図 (図-10)



(3)、地形地質概要

濁川ダムは、森町の普通河川濁川水系の支川である澄川上流部にあり、濁川盆地南部の狭さく部に位置する。

濁川盆地は、直径約 3.0kmのほぼ円形の盆地で、高さ150m～200mの山並にとり囲まれており、約 1万2,000 年ほど前に火砕流を伴う軽石噴火で生じた小型のカルデラと考えられている。

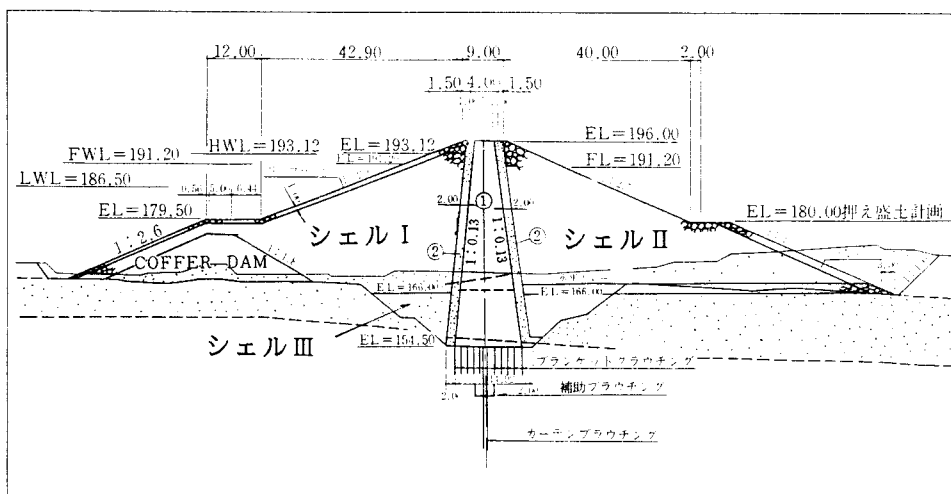
ダムサイト斜面の傾斜は、左岸側が 30 ～ 40 度、右岸側が 10 ～ 20 度であり右岸側は概して緩傾斜である。河床幅は約 100m である。地質構成表に示す通り、新第三紀中新世の八雲層および黒松内層の硬質頁岩および凝灰質砂岩の上に、第四紀洪、沖積世の堆積物が覆っている。(表-6)

地質構成表 (表-6)

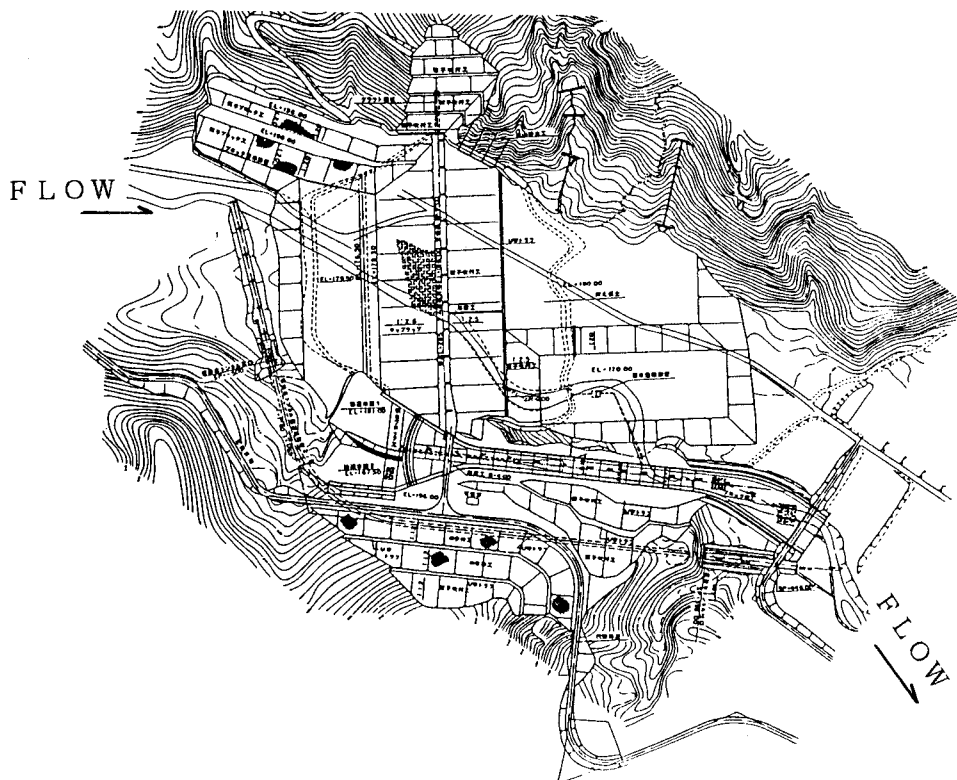
地質時代			地層名 地質名	岩相・層相	記号	記 事
新 生 代	第 四 紀	沖 積 世	扇錐堆積物	礫混り砂質 粘性土	dt	沢部を中心に分布する。基盤地質の風化砕屑物よりなる。頁岩、凝灰質砂岩の風化礫を含む砂質粘性土が主体である。ダム軸左岸の直上下流部に分布するものは規模が大きい。
			河床堆積物	砂	rd	河床部に分布する。層厚は7～13mである。砂礫層は旧河床砂礫層と現河床砂礫層に区分される。界面には埋れ木が多く認められる。径5～50cmの硬質安山岩礫を多く含む。砂は淘汰が悪い。
		洪 積 世	火山砕屑流 堆積物 (石倉層)	礫混り火山灰	pf	ダムサイトから湛水域の左岸山腹に分布する。緩斜面を形成している。濁川カルデラの噴出物と考えられている。凝灰岩礫、安山岩礫(最大径2m)を含む火山灰である。
	新 第三 紀	中 新 世	黒松内層	凝灰質砂岩	Ts	ダムサイトから湛水域の左岸山腹に分布する。凝灰質な中粒砂岩で、新鮮部は割れ目が少なくよく固結している。
			八雲層	硬質頁岩 泥	Sh	ダムサイトから湛水域にかけて広く分布する。硬質頁岩を主体とするが、泥岩、凝灰岩の薄層を挟在している。層理が明瞭で層理面沿いの割れ目が多い。
		—	貫入岩	安山岩	An	ダムサイト左岸上方に帯状に分布する。普通礫石安山岩である。安山岩には、貫入方向に平行な断層破砕帯が認められる。

当ダムの基礎地質である硬質頁岩は、新鮮部の地山弾性波速度が 2.0～2.3 km/sであり、変形係数は 1,000～5,000kgf/cm²付近に集中が認められ、最大でも9,000kgf/cm²である。強度試験の結果を(表-7)に示すが、これらの物性を基に岩級区分を設定しており、新鮮部の最良岩盤をC M級岩盤としている。

堤体標準断面図 (図-11)



ダム一般平面図 (図-12)



強度試験結果総括表（表-7）

試 験 方 法	孔内セン断試験		現位置セン断	三軸試験
岩 級 区 分	C _L	C _M	C _M	C _M
粘 着 力 C (kgf/cm ²)	4.7	8.9	9.0	9.8
内 部 摩 擦 角 φ (度)	27	29	45	49
試 験 数 値	3	6	2	6

透水性は概ねC L級岩盤で10～30ルジオン、C M級岩盤で 5～10ルジオンの範囲にあり、全般的に深部にいくほど小さくなる傾向がある。

基礎処理計画は、ブランケットグラウチング、補助カーテングラウチング、主カーテングラウチングを配し、主カーテンは改良深度 35m、改良目標値 5ルジオン以下に設定している。テストグラウチングを実施したが改良度には特に問題はない。基礎処理計画を（表-8）に示す。

基礎処理計画（表-8）

グラウチングの種類	改良目標値	列間隔	孔間隔	改良深度	備考
ブランケット	10 Lu	1.0 m	1.0 m	10 m	
補助カーテン	10 Lu	1.0 m	1.0 m	15 m	
主カーテン	5 Lu	1.0 m	2.0 m	35 m	千鳥配列

（３） 盛土材料とゾーニング

不透水性材としての土質材料は、ダムサイト右岸下流約 2.6kmに位置する土取場の崖錐堆積物を使用する。堆積物の土質は、頁岩、泥岩の礫混じりのシルトと粘土である。平成元年～2年に転圧試験を行ったが、転圧回数6回、撒き出し厚30cmで所定の設計値（表-9）を満足することが確認されている。

ロック材は、ダムサイト右岸下流約 3.0kmに位置する原石山の、安山岩、砂岩、火山礫凝灰岩である。

ゾーニングは、堤体上流側に安山岩と砂岩のCH～CM級をシェル1として配置し、堤体下流側には、同じく安山岩と砂岩のCL級および火山礫凝灰岩のCM～CL級をシェル2として配置する計画でいるが、ロック材の転圧試験はこれからの予定である。

設計値一覧表（表-9）

名 称	コア材	シェル1	シェル2	シェル3	フィルター
ゾ ー ニ ン グ 番 号	①	②	③	④	⑤
主 材 料	礫混りシルト			河床砂礫	購入材
比重 G_s	2.63	2.64	2.71	2.72	2.69
含水比 w (%)	40.0	2.7	12.8	17.0	8.1
間隙比 e	1.31	0.51	0.69	0.78	0.40
乾燥密度 ρ_d (t/m^3)	1.14	1.75	1.60	1.53	1.92
湿潤密度 ρ_t (t/m^3)	1.63	1.80	1.80	1.79	2.08
飽和密度 ρ_{sat} (t/m^3)	1.71	2.09	2.01	1.97	2.21
水中密度 ρ' (t/m^3)	0.71	1.09	1.01	0.97	1.21
粘着力 c' (t/m^2)	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
内部摩擦角 ϕ' (度)	32	40	34	30	40
透水係数 k (cm/sec)	1.0×10^{-5}	2.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	5.0×10^{-5}	5.0×10^{-4}

近年ダムサイトは、新規火山砕屑物、軟岩、破砕帯などの良好とは言えない条件の所にも求めざるを得ない状況にある。

その中でフィルダムは堤体底面積が広く、単位面積当たりの作用力が小さいこと、基礎の変形に堤体がある程度追従できることなどから基礎地盤

に対し、特に厳密な条件を要求する必要はなく、最近の動向としては力学的な条件の厳しいコンクリートダムよりフィルダムの方が圧倒的に多いとされている。しかしフィルダムは、浸透流に対する抵抗力の小さい土質コアがその遮水機能を受け持っている

工事工程表（表-10）

工種 \ 年度	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
堤体盛立工										
地すべり対策										
グラウト工										
洪水吐工										
調節工										
付替道路工										
付帯工										

ことから十分な調査と適切な設計並びに確実な施工が必要とされることは言うまでもない。

濁川ダムは現在、ダム軸周辺の地すべり対策を実施中のところで、3年後に本体に着手すべく準備中である。防災ダム事業に対する地域農家の期待は大きく、今後とも安全には万全を期して進めていきたい。

3. 水質障害対策事業

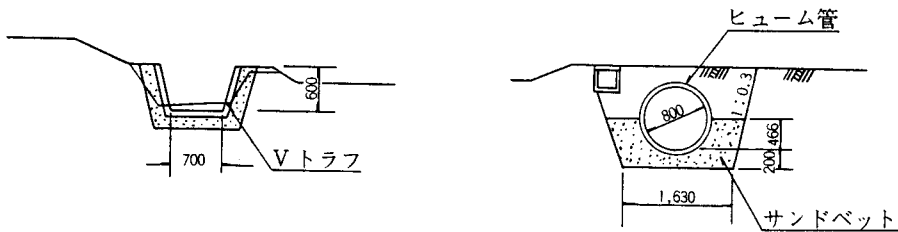
この事業は、公共用水域から農業用水を取水しているものについて、農作物の生育を著しく阻害する水質汚濁、農作業従事者の労働環境の悪化と生産性を害する水質汚濁、用水を利用して得られる農産物が人体に有害となるなどの水質汚濁、を除去することを目的としている。

南大野地区 工事計画（表-11）

所在地	北海道 亀田郡 大野町 字南大野		
負担区分	国庫補助率 50.0 % 道費 35.0 % 地元 15.0 %		
受益面積	水田 115.0ha		
工事期	昭和58年 ～ 平成 2年		
総事業費	335,000 千円		
工事種	事業量	規 格	事業費
用水路工	L=1,297 m L= 635 m L= 78 m	Vトラフ=700*600 BOX =600～700 ヒム管φ700 ～800	137,312 千円
排水路工	L=1,499 m L= 367 m	塩ビ管φ250 ～500 ヒム管φ600 ～800	103,201 千円
その他	測量試験費及び用地買収補償費		94,487 千円

南大野地区は、函館市のとなり、渡島平野の中心部に当たる大野町の南部に位置する。大野町は、人口 8,900人の農業の町で北海道水田の発祥の地でもある。南大野地区では近年、都市化の影響で用水路周辺に住宅が増加したのに伴い、これらの家庭雑排水などが用水路に流入し用水を汚濁し、農業環境を悪化させていた。これら用水路に流入する汚水により農業用水は基準値を越え、汚濁が甚だしくなるばかりでなく浮遊物が水路に附着し、加えて土砂が堆積あるいは藻類が発生し、通水機能を低下させ更には土壌還元を進めつつあるので、用排水分離などの対策を早急に行う必要が生じ、昭和58年度に着手し、平成 2 年度に完了した。

装工定規図（図-13）



4. 海岸保全施設整備事業

管内では3地区で事業を実施中であり、この中の砂原町沼尻地区は昭和58年度に着手された。

砂原町は人口 5,860人の漁業中心の町で、耕地面積は全体の 14.2 %、807haを占める。

北海道における海岸事業は、昭和24年度に同じ渡島管内砂原町で実施された建設省所管の護岸工事が最も早く、その後昭和35年度か

事業概要表（表-12）

関係市町村	砂原町
事業区分	侵食対策
指定年月日	昭和36年 5月 30日
地区所在地	茅部郡砂原町大字沼尻二つ山
海岸管理者	北海道知事
所管別	海岸法第40条第 1項 3号
海岸名	渡島東沿岸砂原海岸沼尻地先海岸
防護面積	73.7ha(農地65.0ha その他8.7ha)
防護戸数	5 戸
防護人口	10人
採択年度	昭和53年
全体事業費	平成 2年度まで 1,035,467 千円
第五次五ヶ年計画	消波工L=2,055m 突堤工 9 基
負担区分	平成 3年～平成 7年 560,000 千円
防護延長	消波工L=445m 突堤工 41 基
	国費 55% 道費 45%
	3,550 m 指定済延長 2,500 m

ら農林水産省構造改善局所管の農地海岸が胆振支庁管内で始まった。当該事業は海岸法に基づき、農地海岸に指定された区域内の波浪による農地侵食を防ぐために、必要な施設の整備を目的に進められている。

沼尻地区は、内浦湾の南西部、太平洋との境界部にあたる。そのため潮流は複雑なものがあり、夏季は反時計回り、冬期は時計回りとなるが 8～10月は南東の風により時計回りとなることもあり、回数は少ないがエネルギーは大きく侵食の原因となっている。また、反時計回りの沿岸流による漂砂の移動は少な

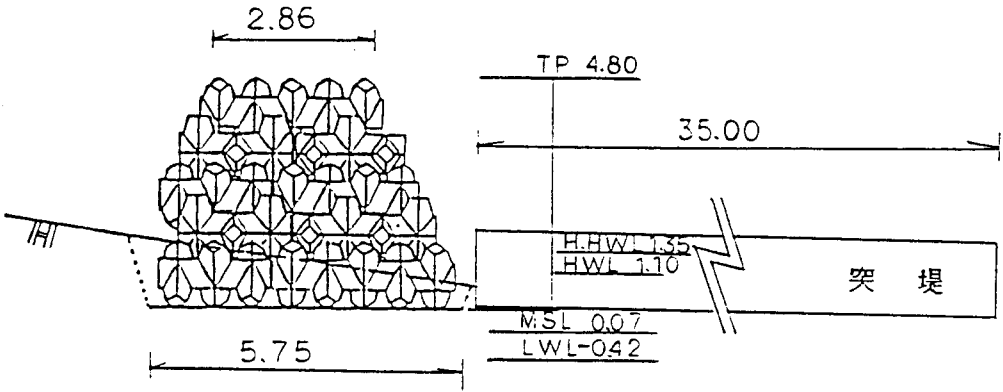
いが、時計回りになると沿岸流による移動が著しく、侵食による被害は大きくなる。

当地区の背後地は、10 m以上の断崖の上に放牧場と採草地があり、大正 9年からの70年間で 200m 以上の侵食を受けており、早期完成を目指している。

工事計画概要（表-13）

事 項		堤防状況	計画事項
堤防	堤防型式	消波堤（ブロック積）	消波堤（ブロック積）
	天防天端高	T P 4.80 m	T P 4.80 m
防工	区別延長	2.055 m	445 m
	突堤工	9 基 長さ 294 m 間隔 50 m	41基 長さ 1.435 m 間隔 50 m
天防天端高 算定式		設計高潮位 打上波高 余裕高 1.10 + 2.50 + 1.20 = 4.80 m	
主 要 工 事		消波護岸工 L=2.500m 突堤工 L=1.729m （ 50基）	
侵 食 の 状 況		大正 9年～昭和52年（72年間） 年平均後退 3.0 m/y	

消波護岸工 標準断面図（図-14）



5. ため池等整備事業

この事業は、農地、農業用施設等の災害を未然に防止し、または、被害を最小限度に食い止め、農業経営の安定を図るとともに国土保全に資することを目

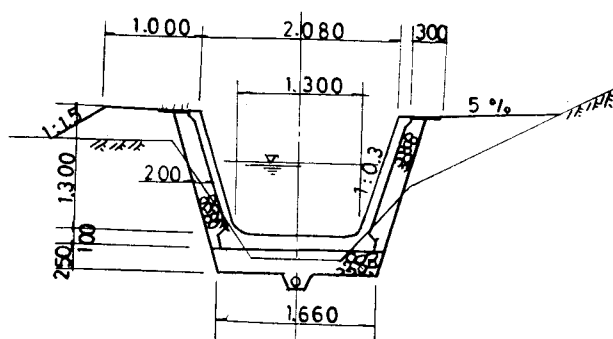
的としたものである。

管内では2地区で用排水施設整備工事が進められているが、平成2年度に着手した函館市米原地区について触れる。本地区の用排水路は、歴史は古く明治初期につくられた山腹沿いに築造されている土水路である。その後たびたび決壊してはその都度、受益農家61戸の私費により部分的に土のうや木杭で補強を重ねて現在に至っている。最後の改修から19年も経過しているため施設の老朽化は甚だしく、損壊したり山腹からの土砂流入により流水断面が阻害されているため、V型トラフ装工とし、更に放水施設を整備することにより溢水を防ぎ、周辺農地の安全を図るものである。

米原地区 工事計画 (表-14)

所在地	北海道 函館市 米原		
負担区分	国庫補助率 50.0 % 道費 25.0 % 地元 25.0 %		
受益面積	水田 66.0 ha 受益農家 61 戸		
事業期	平成 2年 ~ 平成 6年		
事業費	370,800 千円		
工事種	事業量	規格	事業費
用排水路	改修延長 L=2,825 m	V型トラフ V=1,300*1,300	323,400 千円
その他	測量試験費及び用地買収補償費		47,400 千円

装工定規図 (図-15)



4 あとがき

農地保全の問題を広義にとらえ、渡島支庁管内で実施されている農地防災事業に関連して農地保全上の施工例を紹介した。全体に表面的な内容で、どちらかと言うと事業制度の内容説明に終始したように思われるが、農地保全に具体的に対処するにあたり、このような事業制度を活用することも一つの方法であろう。

安定した生産性の高い農業経営を可能にするためには、農業の根幹である土壌の保全をはじめ、農業の発展に伴って開発された農地や農業施設の機能を十分に発揮させ、これを保全していくことが不可欠であり、このことが『未来につなぐ豊かな大地』へのアプローチであると考えてる。

本文をまとめるに際し、多数の方々にお世話になりました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- ① 北海道渡島支庁：渡島の農業（1991年版）
- ② 農林水産省構造改善局防災課：農地防災事業便覧（昭和59年度版）
- ③ 北海道の農地防災：農業土木新聞社（昭和61年）
- ④ 加藤 誠、勝井義雄、北川芳男、松井愈：日本の地質1 北海道地方
：日本の地質『北海道地方』編集委員会編：共立出版㈱
- ⑤ 山口柏樹、大根義男：フィルグムの設計および施工：技報堂出版㈱

北海道の気候とその変動

北海道大学大学院環境科学研究科

高橋英紀

1. はじめに

北海道農業を論ずる場合、常に考慮に入れておかなければならないのが、気候の問題である。2000年以上も前に北九州（福岡 8月平均27.3℃）に上陸した稲作技術はあっという間に青森地方（青森 8月平均22.5℃）にまで広まったと言われている。しかし津軽海峡を渡って札幌近郊の島松（札幌 8月平均21.3℃）で根付くまでに1000年以上の年月を要した訳である。もちろん、その間松前あたりで試みられた事であろうが、技術が確立されるには至らなかった。その原因は主として栽培技術の未熟さもあっただろうが、大きく変動している気候が稲作技術の導入を妨げたとも言える。ここでは、数十年、数百年、数千年単位の気候の変動のなかで北海道の気候の現況を見つめ直し、近未来における気候の遷移の方向を考えようとする。

2. 北海道の気候概観

北海道の気候を特徴づけている地理的要素としては、 a)緯度：日本で最も北にあり、地域全体として低温である。ケッペンの気候区分によればほぼ全域が亜寒帯（最寒月の平均気温が-3℃以下、最暖月の平均気温が18℃以上）に属する。b)地形：島のほぼ中央を北見山地、石狩山地、日高山脈が連なり地域を東西に区分している。また、石狩山地から 東方へは阿寒から知床にかけての千島火山帯が連なり東部地域をさらにオホーツク海側と太平洋側に分けている。西に向かつては夕張山地や那須火山帯に属する羊蹄山、恵庭岳、有珠山、ニセコアンヌプリなどの火山群と渡島半島の脊梁山脈があり、地域を日本海側と太平洋側に分けている。しかし一部には比較的平坦で日本海・太平洋間を気流が動きやすい石狩・勇払低地帯や黒松内低地帯などがある。c)海域と海流：太平洋、日本海、オホーツク海に囲まれ、それぞれの海の特徴が地域の気候をも特徴づけている（太平洋の寒流、日本海の暖流、オホーツク海の流氷）。

夏季の小笠原高気圧（北太平洋高気圧の西端部）から最も遠いため本州に比

べ夏の蒸し暑さは少なく、また梅雨前線の影響も渡島半島に出る以外はほとんどなく、5月から8月にかけては乾燥したさわやかな天候がつづく。秋から冬にかけては秋雨前線の南下とともに次第に雨が多くなり、10月も半ばを過ぎると各地で初雪が降る。台風発生を中心であるフィリピン東部の熱帯海域からも遠いため台風の影響は少ない。

(1) 気 温

平地における年平均気温は5-9℃であり（図-1）、雄武の5.3℃は富士山を除く日本の気象官署の中で最低である。冬季の気温は内陸ほど低温で、気象官署での最低気温の極値は旭川における-41.0℃（1902年1月25日）である。1月の平均気温が-4℃以上で温帯にやや近く温暖な地帯が襟裳岬付近と渡島半島の海岸一帯に見られる。冬季2月から3月にかけて、オホーツク海沿岸一帯と根室海峡が一面の氷に覆われ、漁業活動を休止せざるを得ないなど、地域の産業、生活に大きな影響を与えている。その影響は気温にも現れ、流水の接岸により海岸地域が内陸化するため気温の低下現象が見られ、最寒月が2月となる。

最暖月は全域で8月である。8月の平均気温が18℃を下回る地域は北部オホーツク海岸の一部と釧路、根室から知床半島にかけて見られる。これは6月から8月にかけて太平洋沖で発生する海霧とオホーツク海高気圧から吹き出す冷湿気流の影響によるものである。生物活動の指標となる5月から9月までの日平均気温の積算温度の分布（図-2）によれば、西北海道においても苫小牧・白老の海岸から西の方に2500℃を下回る地域が舌状に広がっている。これも海霧と冷湿気流の影響である。東北海道では十勝平野の内陸部と北見盆地を除き2500℃以下となっている。

(2) 降 水

降水量の分布は西北海道では多く東北海道では少ない（図-3）。特に網走を中心に紋別から北見盆地、十勝平野の中・北部、斜里にかけての地域で年降水量は1000mm以下となり日本で最も降水量の少ない地域となっている。年降水量1600mm以上の地域のうち、天塩山地は冬季の降雪の占める割合が大きく、日高山脈南東部と登別・白老間の太平洋岸からオロフレ山地にかけての地域は暖候期の降雨が原因である。気象官署の記録では24時間降水量の極値は広尾の224.0mm（1979.10.19）で1時間雨量では苫小牧の126.0mm（1950.8.1）である。

最深積雪深は日本海側で大きく、天塩山地では2m以上に達するが太平洋側では少なく、特に十勝平野の東部から釧路にかけてと日高の海岸部、函館付近では50cmにも達しない。気象官署における最深積雪深の極値は倶知安の3.12m（1970.3.25）であるが、地域気象観測所では倶知安に隣接する京極で同じ時期に3.30m（1970.3.26）の記録がある。日降雪深の極値は普段雪の少ない太平洋岸にあり、帯広での1.02m（1970.3.16）がずば抜けて大きい。これは2月頃から時々台湾近海で発生し発達しながら日本列島の太平洋岸を北上する低気圧（いわゆる台湾坊主）の影響により太平洋岸から湿潤な気流が入り込んで起きるものである。平地における長期積雪は積雪が少なく気温が高い室蘭で短く12月30日—3月4日である。平地で長いのは多雪地帯の倶知安で11月21日—4月21日の5ヶ月に渡る。

山岳地帯の北斜面や吹き溜りでは、融け切らないうちに新雪が降るために年間を通じて積雪が見られる箇所がある。ただし積雪が少なかった年や夏季の気温が高かったとしには融けることもあり、また地表に接する部分においても融雪が進行するためいわゆる万年雪とはならない。数年程度の多年雪である。山岳地帯の残雪は土壌層が薄く、保水力が乏しい斜面への夏季の水分補給元となり雪田植生を発達させている。

（3） 風

北海道では冬型の気圧配置の下では全域的には西北西の風が卓越する。この冬の季節風は日本海を挟んで対峙するソ連領シホダ山脈を越えてきたものである。この西北西風は地上では山や平野部の配置により様々な局地性を持った風向へと変わる。幅が狭く途中に高い山がない石狩・勇払低地帯の北西端に位置する札幌では11月から3月にかけて北西風が卓越する。一方、周囲を高い山で囲まれた旭川では9月から3月まで南風が風向頻度の第1位を占めるが、その卓越性は高くはない。日本海側の留萌や羽幌では大陸からの風が直接吹き付ける位置にありながら、冬季には東南東あるいは南東の風が卓越している。これは背後に天塩山地があって、風の吹き抜け地形になっていないこと、季節風が弱まったときに生じる沿岸付近の小低気圧と内陸の局地高気圧の影響とされている。

小笠原高気圧が発達し夏型の気圧配置となると、北海道は全体として南よりの風に覆われる。この場合も地形の影響を大きく受け、苫小牧から札幌にかけ

ては東よりの成分が入る。この地域では冬型から夏型の気圧配置に変わり風系が南よりになる5月から6月にかけて風が強まり、札幌ではかつて馬糞風とよばれた強風となる。渡島半島の太平洋岸から入った気流は石狩・勇払低地帯などを抜けて北部日本海岸の天塩から納沙布岬にかけて南東から南南東の風となって吹き付ける。特に稚内沖は低気圧の通過経路にも当たり、年間を通して風が強く明治から大正にかけて発生した山火事による消失以後森林の回復は進んでいない。南東風の時に利尻島の風下域となる豊富から稚内にかけての日本海岸では利尻島の風下に出来るカルマン渦列により、周期性のある突風が吹き海岸における砂丘移動の一因ともなっている。

北海道にはこの他各地に局地的な強風地帯があり、地域の農業や漁業へ影響を与えている。その代表的なものが十勝平野北西部と網走から斜里にかけての海岸地帯とその内陸の丘陵地における、5、6月の強風である。十勝北西部の風は、日高山脈と石狩山地の間を抜け十勝に向けて吹き下ろす西よりの強風で一部は日高山脈を越えて吹いていると言われる。一般に山蔭で発生する強風は強風は上空に強い逆転層をもち、その逆転層が風下域で波動現象を起こすためと言われている。しかし十勝の強風の場合には特に逆転層がない場合にも発生している。平地では雪も融け、地表が日射を吸収して高温となり、一方、日高山脈や石狩山地にはまだ残雪が広く残っている5、6月には山地の雪面上で冷やされて重くなった気塊が山麓に向けて流下するために起きると考えられている。風速の日変化が気温の変動と一致していることもこの説を裏づける。網走・斜里地方も藻琴山や斜里岳の間を抜ける風や、周辺の山地から吹き下ろす南よりの強風は同様の原因で起きているものと考えられる。両地域とも強風から農地を守るために残置、造成された幹線防風林や耕地防風林が特徴的な景観となっている。

寿都のだし風、日高しも風、羅臼おろし、雄武ひかた風などは逆転層の発達と山越気流の波動現象で起きる典型的なおろし風で、海岸や沿岸海域で猛烈な強風となるがその範囲はあまり広くはない。

(4) 気候区分

北海道の気候区分は福井（1929）以来、近くは吉野（1980）、加藤（1983）等いくつかの提案がなされている。ここでは気温と降水の絶対量と季節配分を

考慮にいたした福井の区分に多少修正を加え、次の5区に区分した（図-4）。

I. 日本海岸北部気候区

冬季に北西の季節風がもたらす雪のため、不照時間が多く、最深積雪深も平地でも1m以上、山地では2m以上に達する。海岸に添って北上する対馬海流（暖流）の影響を受けて気温は高く、留萌の平均気温は7.3℃で同じ緯度でオホーツク海岸にある網走に比べ1.4℃も高温である。夏季は高温多照で北部地域を除き北海道の主要な米作地帯となっている。

II. 日本海岸南部気候区

冬季に不照日数が多く、積雪も多いが日本海北部気候区程ではない。しかしニセコ山系から羊蹄山にかけて、1.5mを越える地帯がある。この気候区にある倶知安は北海道の気象官署としては最も多雪である。渡島半島に位置するため海洋の影響が大きく、極端に内陸的な気候を示す地域はない。

III. オホーツク海岸気候区

冬季の季節風がもたらす雪が北見山地や石狩山地で遮られるため冬季は晴天が比較的多く、積雪も1m以下である。夏季の南よりの風に対しては石狩山地と千島火山群の風下に当たるため、雨は少なく、年降水量は1000mm以下で日本で最も少ない地域である。水温の低いオホーツク海に接することと、オホーツク海高気圧に最も近いことため夏季には晴天で冷涼な天候になることがある。2月から3月にかけての流水の接岸が地域の気候や産業、生活に影響を与えている。

IV. 太平洋岸東部気候区

オホーツク海気候区と同様、冬季の北西風がもたらす雪は石狩山地や日高山地で遮られて冬は晴天がおく積雪も少ない夏季には太平洋岸から侵入する海霧の影響を受けて、海岸地域では霧日数が月の半分以上に達し日照が少なく気温も低い。

V. 太平洋岸西部気候区

積雪が少なく平野部の長期積雪は3月中旬頃までである。最寒月の平均気温は概ね-6℃以上で、最暖月の平均気温が20℃以上の温暖な地域である。ただし苫小牧付近では沿岸に発生する冷水塊の影響で海霧が発生しやすいこととオホーツク海高気圧からの冷湿気流が侵入しやすいことから、太平洋岸東部気候区に類似している。

2. 過去における気候変動と農畜産業

(1) 気候変動の実態

a. 長期的な変動と自然環境の変遷

気候は地球の誕生以来、長期・短期の変動を繰り返してきたが、その変動が生物を進化させ、今から200万年前に始まったドナウ、ギュンツ、ミンデル、リス、ウルムの一連の氷期は猿から人間を作り出す原動力となった。図-5は長期的な気候変動の中に中間的・短期的変動が含まれている様子を示している。現在、地球は少なくとも200万年続いた一つの氷河期のあとの間氷期にある。この最後の氷河期の特徴は比較的暖かい間氷期と非常に寒い氷期が繰り返していることである。

気候変動は気温を主にして論じられることが多いが、忘れてはならないのが降水量も同様に変動し、生物活動を規制する鍵となっていることである。今は荒涼たる砂漠となってしまったサハラ砂漠も今から7,000～8,000年前までは象やカバや水牛が棲んでいた。人々は狩りをし小舟を使って魚を採る生活を送る、緑豊かな土地であったと言う。また初期の農耕文化が栄えたメソポタミアも今よりはずっと水に恵まれた気候であった。このように変動する気候要素としては気温と降水量が重要であり気温が高い低緯度では降水量の重要性がより高く、気温の低い高緯度では気温が重要となる。

b. 中期的な変動

図-6は過去1,000年のアイスランドの気温変化を示したものである。AD1,100～1,200ころは北半球は温暖化の傾向にありグリーンランドでは牧草もはえ家畜も導入された。そのころ日本は平安文化の最盛期であり宮中で催される花見の日取りにも温暖な気候であったことが裏付けされている。1200年代後半から1300年代前半にかけては来るべき小氷期の前兆とも言うべき低温期があり、その後1400年代の全般に一時温暖になるが1500年頃から気温は次第に下がりはじめ1700年代後半から1800年代前半にかけ最低となり、その低温は1900年代のはじめまで続いた。この低温期は小氷期と呼ばれている。

c. 短期的な変動

図-7は網走における年平均気温の推移である。網走でも1900年頃までは低温であり、世界規模におきた小氷期の影響が明かに見られる。その後は10年ほど

の周期で温暖・寒冷が繰り返している。これは太陽黒点の増減の周期11年に相当している。

3. 気候の変動と北海道農業の始まり

(1) 農耕の起源と気候変動

前述したごとく人類の祖先ラマピテクスが出現した200万年以来、この地球ではドナウ、ギュンツ、ミンデル、リス、ウルムの5回の氷河期があった。そのつど寒冷化に対応できなかった猿人、原人、旧人たちはそれぞれの持つ古い文化とともに滅び、より新しい文化をもつ現代人へこの地球での生存権を譲った。その時期は最終氷期（ウルム氷期）の中ごろのことである。

その当時の人類の食糧確保の手段は狩猟であったため、人口はマンモスなどの草食性野生動物の数により規制されていた。しかし狩猟技術の発達とともにそれらの草食性大型野生動物の幾種類かはウルム氷期の末期には滅亡し、食糧源としての野生動物数は激減した。そのため人類は一時期存亡の危機に立たされた。その時、人類を滅亡の淵から救ったのは牧畜・農耕技術の発明である。特に農耕による食糧の増加は食糧確保以外の時間的余裕をもたらした人類発展の基礎となったことは言うまでもない。最も古い栽培作物であるコムギの発祥の地メソポタミアでは栽培が始まったとされる9,000年前ころは気候は寒冷・乾燥から温暖気候への移行期にあたり、気候の変化がコムギの栽培化に何らかの形で寄与したものと見られる。

(2) 農業の発達と気候変動

農業技術の発達は大きく2つの流れに分けることができる。一つは品種改良による気象条件に適した品種の獲得であり、もう一つは栽培技術による栽培環境の改善である。栽培技術としてはエジプトで5,000年前ごろから行われた灌がいがい最も重要である。当初は水の補給よりもナイル河の洪水を利用して栄養分を畑に供給するためのものであったが、2,000年前頃から次第に乾燥化してきたため水分補給の役割が大きくなった。メソポタミアでは用水路網が発達し小さなダムも建設されたが、相次ぐ外敵の侵入による破壊に加えて気候の乾燥化がさらに進んだため農業は壊滅状態となり荒廃した砂漠が広がった。

品種改良の例としては稲栽培の北上の歴史がある。稲栽培の起源がどこにあ

るかは諸説があり未だ確定的ではないが、インド北東部のアッサムと中国南部の雲南を含む地域と言うのが定説になりつつある。この地域は横断山脈と呼ばれる起伏に富む地形で、谷底から山頂にかけては熱帯気候から温帯湿潤気候までバラエティに富んだ気候が分布している。生物は氷期・間氷期の激変する気候の中で適合する気候の地域に分布域を変えて生き延びなければならなかったが、この起伏に富む地域では水平に遠く移動する必要はなく、比較的短く垂直方向に移動することで環境の変化に適応することができた。この地域の植物相・動物相が非常に豊富なのはこの様な理由による。したがって稲の場合も野生の段階で低温に適応する形質を持っていたものと考えられるが、その中で低温に適応する形質を選別し品種改良をしながら北上し、北海道までたどり着いたのが、渡辺忠世氏の説く「稲の道」の楊子江系列である。日本に伝わってからの稲作も順調なのびを示して来た訳ではない。先述の中間的あるいは短期的気候変動に遭遇し打撃を受けている。その実態を気象災害の歴史を示した図-8で見てみる。

日本には縄文晩期に入ってきたと言われているが、4世紀中葉に大和朝廷により統一されるまでは、部族単位で農業が行われてきた。その後7世紀中葉、班田収授法が制定されて水田の全国的な情報が入るようになってきた。その頃の日本の気候は次第に温暖化に向かう時期であったが、そのためかまたは記録を残す制度がまだ整っていなかったためか、気象災害の記録は少ない。しかし、8世紀から10世紀にかけてのいわゆる小暖候期には図-8に見られるごとく干ばつが異常に多発している。これは人口の増加とそれにもなう水田面積の拡大に水資源の確保が追従出来なかったことも一因と考えられるが、主として気候の変化に起因すると見られる。弘法大師が各地に溜池をつくり地下水脈を見つけて農民に感謝され、今に残る大師伝説の基をつくったのもこの頃である。

稲作技術はその後本州北部にも広がり、鎌倉時代には青森でも稲作が定着していたと言われる。しかしそれに伴い低温災害の危険も増大した訳であり、16世紀に始まった小氷期に大きな打撃を受け、暗い飢饉の繰り返しの時代が300年近くも続いた。図-8で冷害に注目すると13～14世紀にかけては散発的に発生していたが17世紀に入って急激に増加している。代表的なものが天明（1783年～1987年の5年連続不作）・天保（1833年、1884年、1836年、1837年、1839年

が不作)の大飢饉である。当時の全国と江戸の人口は10~20%も減少した。気候変動が社会に及ぼす影響がいかに大きいかがわかる。

その頃ヨーロッパではアルプスの氷河が拡大し、麓の耕地や村を荒廃るを言った事が起きていた。また、イギリス諸島の北部を通る冬の低気圧の経路が南に偏るようになり、冷たい極寒気団を低緯度まで引き込んだため大雪や低温をもたらすようになった。夏の気温も低く、慢性的な食糧不足から庶民の生活条件は極端に悪化した。そのためペストが流行し、最初の大流行(1347~1348年)でヨーロッパの人口の1/3近くが死亡したと言われている。14世紀から18世紀にかけて1回の流行で数10万人の死者を出したと言われる。なおこの時期の畜産技術で注目されるのは16世紀にフランス北部のフランドル地方で家畜を畜舎で飼うようになったことである。冬季の飼料保存法が確立したことにもよるが、小氷期の気候の悪化が大きな原動力になっていたものと見られる。

明治以前、北海道に稲作をはじめとする南方系の農業技術の導入が試みられたとしても、江戸の中期から末期にかけて地球規模で起きた寒冷な気候がそれを妨げていたものといえる。しかし、わが国ではこの気候変動の大きなインパクトにより農民は再び農業技術の改革に目覚めた。それまで稲の品種改良はいわゆる無意識淘汰の時代であったが、このころから集団淘汰法や第一回淘汰法が取られ始めた。たとえば文化年間(1804~1817年)に島根県で茶早苗という品種が淘汰選別されたのに始まり、天保年間(1830~1845年)に熊本県で穂増、富山県で前沢種などの優良品種が続々と選抜されてきた。

北海道への稲作技術の導入はこのような農民による品種改良努力の集積と図-7に見られるごとく小氷期という地球規模の寒冷期からの回復と言う2つの事象が重なって、初めて実現したものと言える。なお、この系統的な淘汰法は明治に入ってから国家的な事業として科学的に行われ始めた。しかし農家による優良品種選抜の努力は続けられ昭和初期まで新品種の発見が続いた。

4. 現在の気候と世界の食糧生産

世界の食糧生産に強い影響を与える気候要素は言うまでもなく気温と降水量である。東北・北海道の様に冬季の積雪を春から夏にかけてかんがい用水として利用でき潤沢な水分補給で暖地性作物の一種である稲を栽培している地域で

は収量は気温と強い相関を持つが（図-9）、アメリカ中部、ソ連のウクライナ地方、オーストラリア（図-10）、中国の中西部の様な半乾燥地帯では降水量と穀物収量の相関が非常に高い。カナダや北ヨーロッパ、中国東北部では気温と降水量ともに収量との間に関連がある。

世界の主要穀物である小麦、稲、トウモロコシの分布と降水の変動性を示した図-11によると稲は変動係数20以下、すなわち安定的に十分な灌がい水を得られる地域に分布し、トウモロコシはそれよりもやや変動の大きい地域まで広がっている。一方、小麦の分布域は広く、北はスカンジナビア半島の南部、北アメリカ大陸ではカナダの中部地域まで栽培されている。これら北限地域の収量は気温の変動が大きく影響すると予想されるが、ソ連の穀倉地帯であるウクライナからカザフ共和国にかけては降水の変動性が高く、収量は降水量に大きく依存することがうかがわれる。アルゼンチンの穀倉地帯であるパンパも同様である。アメリカの場合は畑地灌がいシステムを導入して変動係数40%以上の地域でも栽培を行っているが水資源には限度があり、塩類集積の問題も深刻である。

5. 地球環境変化のシナリオと農業

地球温暖化を科学者たちが懸念し始め科学的な実証を示し始めてから四半世紀になろうとしている。この科学的実証とは1958年から始まったハワイ・マウナ島における大気中の炭酸ガス濃度の継続観測と日本人科学者真鍋淑郎がアメリカで行った大気中の炭酸ガス濃度が倍増した場合の気温を一次元数値モデルでシュミレートした研究である。数値モデルはその後改良あるいは新しく開発され二次元・三次元モデルで昇温の地域分布が予想されるようになった。図-12は真鍋ら（1980）の計算による炭酸ガス 4倍増の場合の地球全域の温度変化を示したものである。北半球高緯度での昇温が大きいが赤道付近はさほどでもなく、日本付近で昇温の勾配がきつくなっている。南半球では北半球ほどの昇温は見られないが、陸地面積の差異によるものである。はじめにも述べたごとく気候変動のなかで気温とともに重要な要素は降水量の変動である。特に乾燥化は世界の食糧系へ大きな打撃を与えるので厳密な予測が必要である。ところが降水は温度と大気中の水蒸気量の関数であり水蒸気は地表面や海水面などが

ら日射のエネルギーを使って供給される。さらに日射エネルギーは雲の存在で大きく変わり、大気中の水蒸気が過飽和となって雲を形成するかどうかを地球全域で精度良く推定することは膨大な計算を要し現時点では不可能とされている。また、現在提唱されている数値モデルも完全ではなく、モデルのなかに入れる気象現象の物理過程の係数を少し変えると結果は大きく異なってくることもある。したがって地球全域の降水量あるいは気候の乾燥化・湿潤化の傾向を十分な確からしさに論ずることはできないのが現状である。図-13に Washingtonら（1984）が行った土壌水分の計算結果を示す。これによると中国から中央アジア、スカンジナビアにかけてと北アメリカ大陸北部は湿潤にアフリカの大部分と中近東、北アメリカ南部、南アメリカ南部、オーストラリアなどで乾燥化が進むことになる。北アメリカの乾燥化地域は、現在、小麦やトウモロコシの主産地であり世界の食糧庫と呼ばれている地域である。もし、上記のシュミレーションの結果が正しいとすれば将来世界規模の食糧供給のバランスがかなり変化することも考えられ、各国が真剣にこの問題に取り組み始めた由縁でもある。

しかし、まだ不確かなシュミレーション結果を使って農業の将来像を描くことは危険であり、混乱の元ともなりかねない。アメリカでは1980年に時の大統領カーターの指令で研究者たちが西暦2000年の気候変化を①著しい寒冷化、②緩やかな寒冷化、③過去30年並、④穏やかな温暖化、⑤著しい温暖化の5つのシナリオに分けて、それぞれの場合について世界各地での干ばつ発生の可能性を検討している。表-1に著しい温暖化（世界の平均気温が1℃上昇）の場合の結果を示す。やはりアメリカで干ばつが頻発する可能性が高くなることを示している。同報告ではさらに食糧あるいは社会生活に至るまでの詳しい予測を行っている。

6. おわりに

北海道ではもともと温度の絶対量が少なく、低温災害の常襲地帯である。現在、世界規模で懸念されている地球の温暖化現象は温度だけの一面的なみかたからすれば、北海道には有利に働くであろう。しかし、農業にとって温度と同様に重要な要因である降水量とその季節配分がどのようなになるのかが問題であ

り、今のところ全く予測できない状態にある。また、気候の変化による農業をとりまく動植物相の変化が新しいタイプの病虫害の発生をうながす可能性も否定できず、あたらしい気候環境へ農業は適合するにはやはり、かなりの軋轢が予想される。

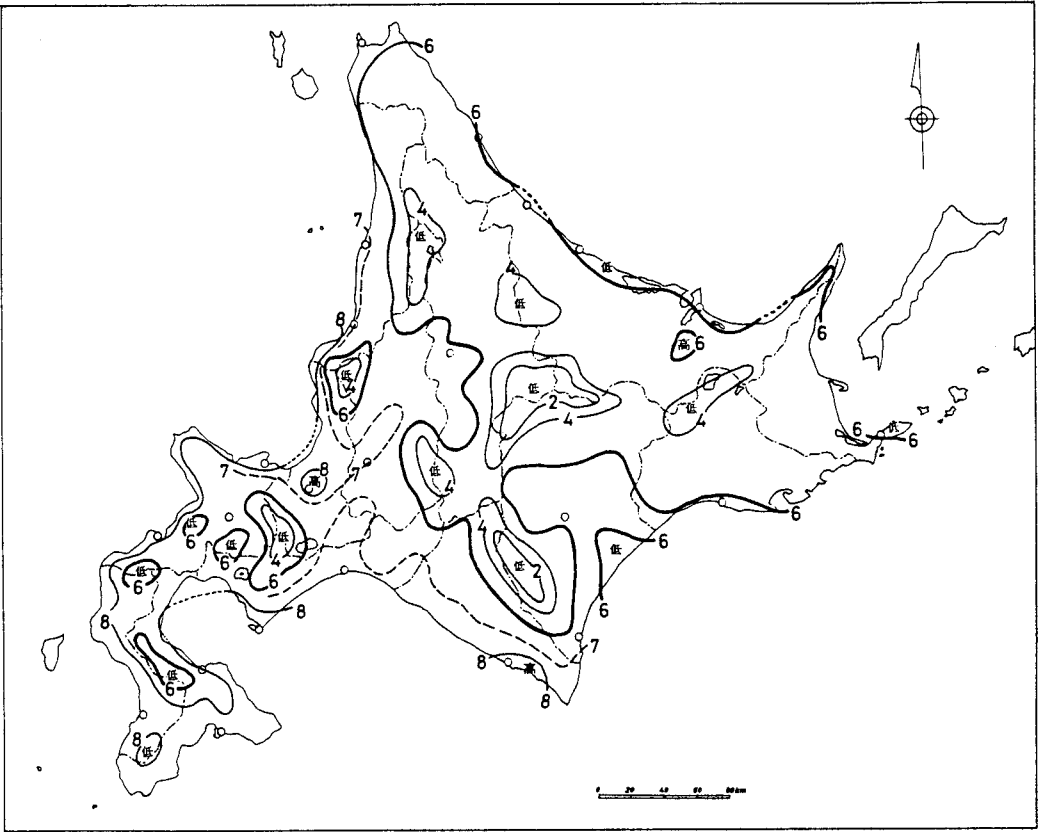


図-1 北海道の年平均気温の分布（農林省・気象庁, 1978）

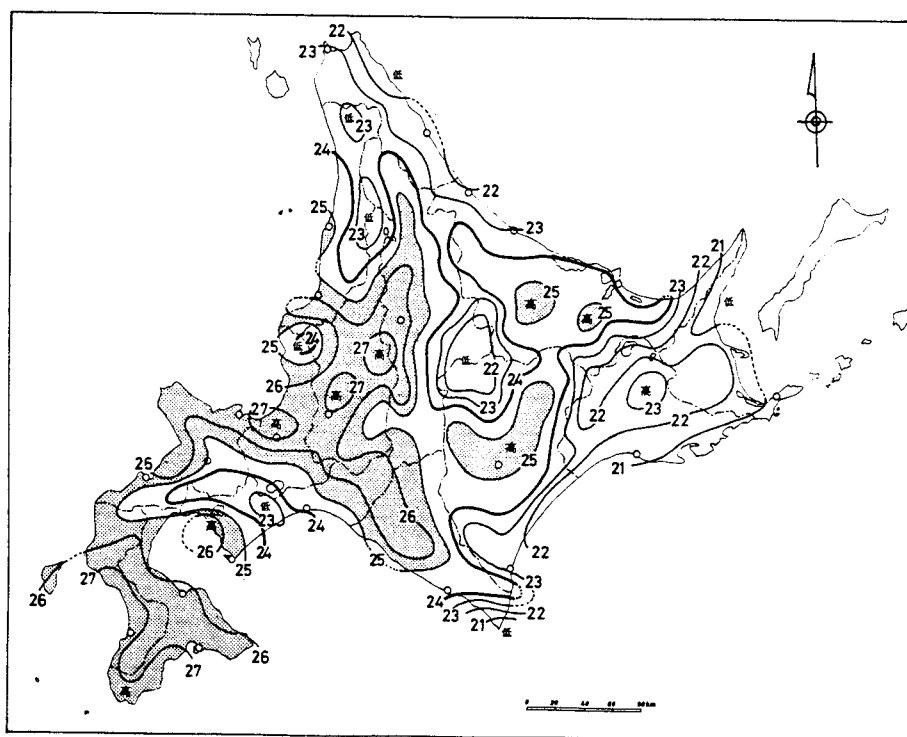


図-2 北海道の5月～9月までの積算気温の分布（農林省・気象庁、1978）

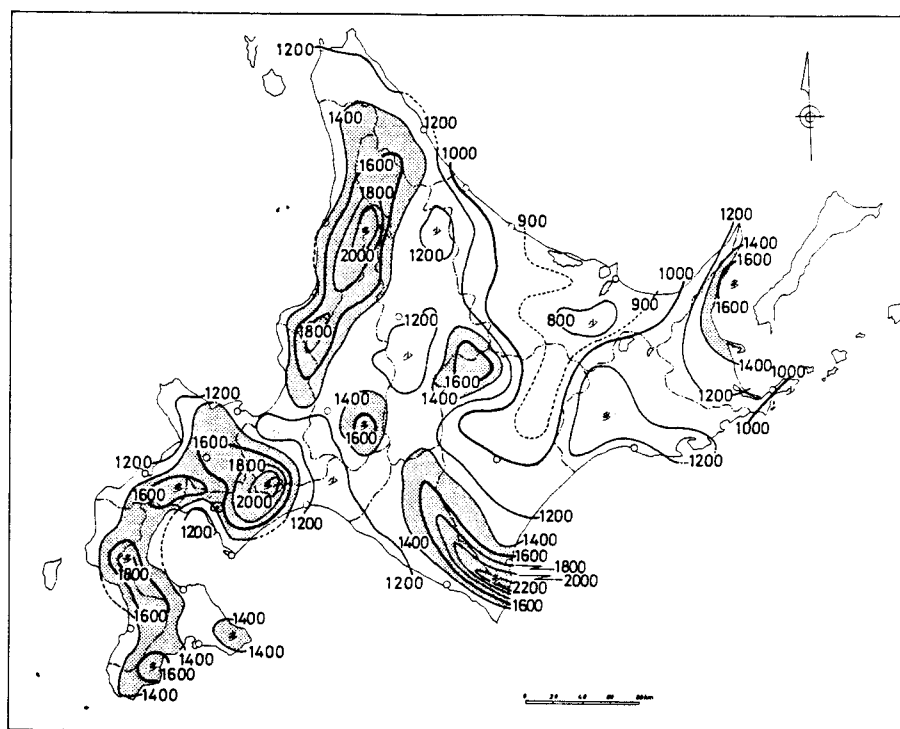
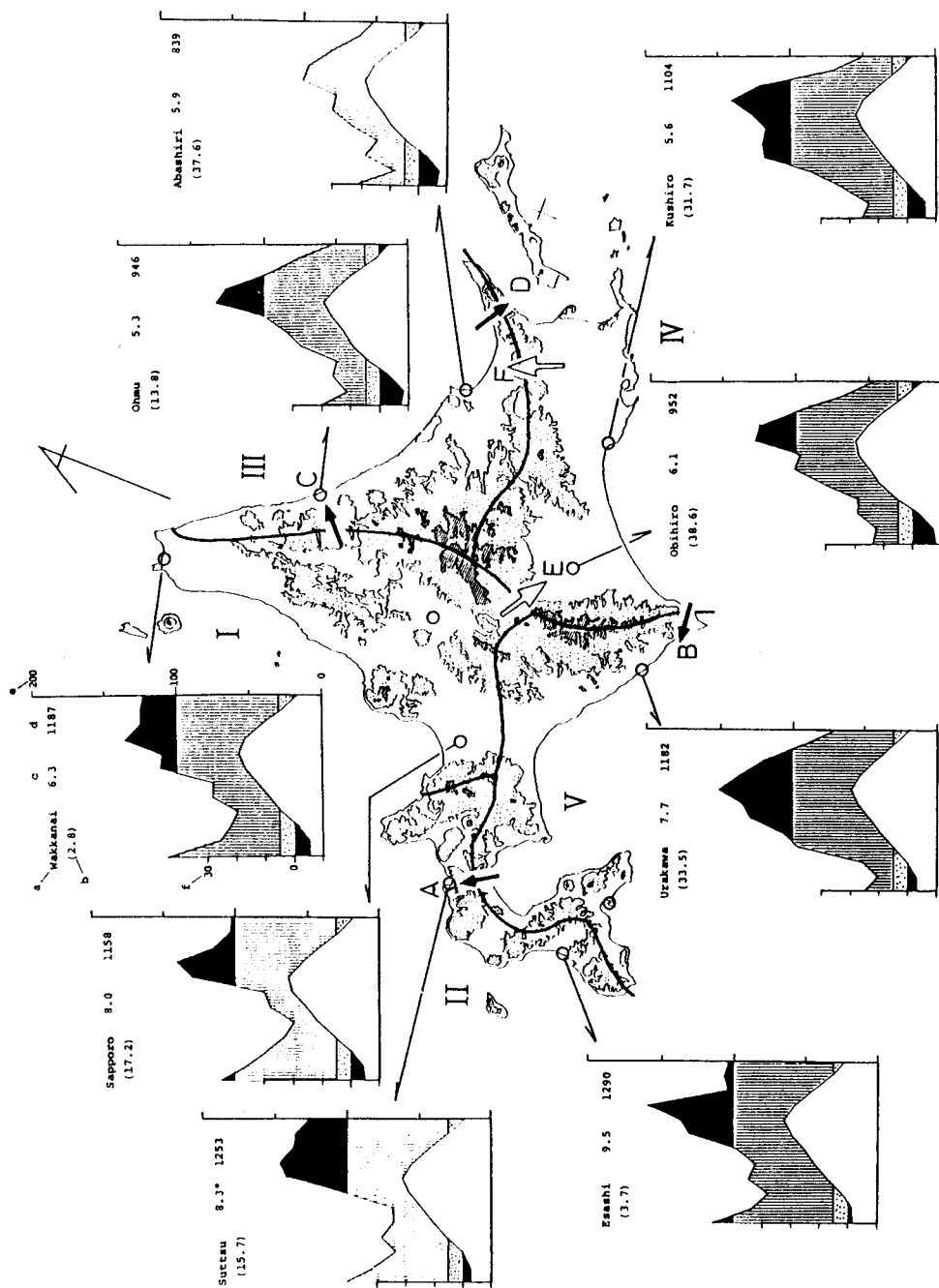


図-3 北海道の年降水量の分布（農林省・気象庁、1978）



北海道の気候区分と代表地点のクリモグラフおよび局地強風の分布(a: 地点名, b: 標高(m), c: 年平均気温 (°C), d: 年降水量 (mm), e: 月降水量 (mm), f: 月平均気温 (°C), A: 斜網強風, B: 日高しも風, C: 雄武ひかた風, D: 羅臼風, E: 十勝風, F: 斜網強風)

図-4

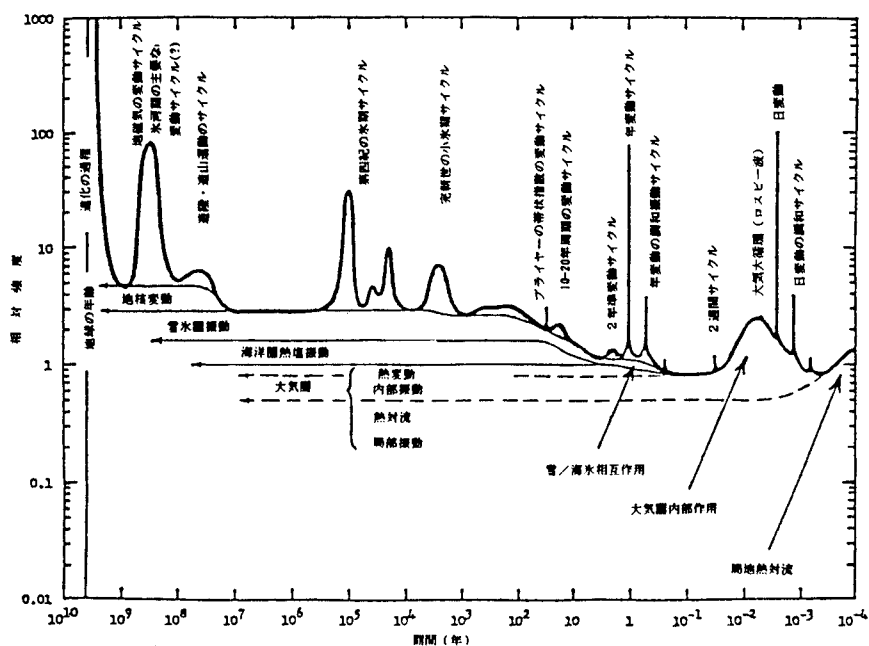


図-5 気候変動の周期性 (Michel,1976)。縦軸：変動強度、横軸：変動周期

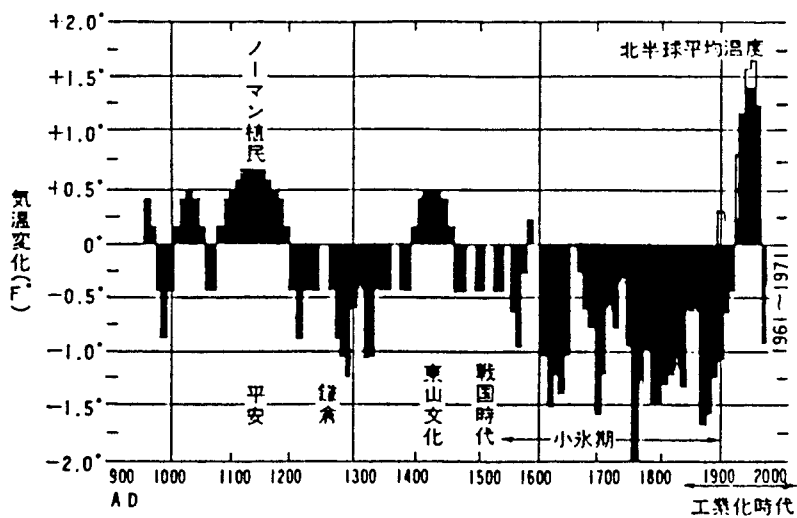


図-6 過去1,000年間のアイスランドの気温の変化

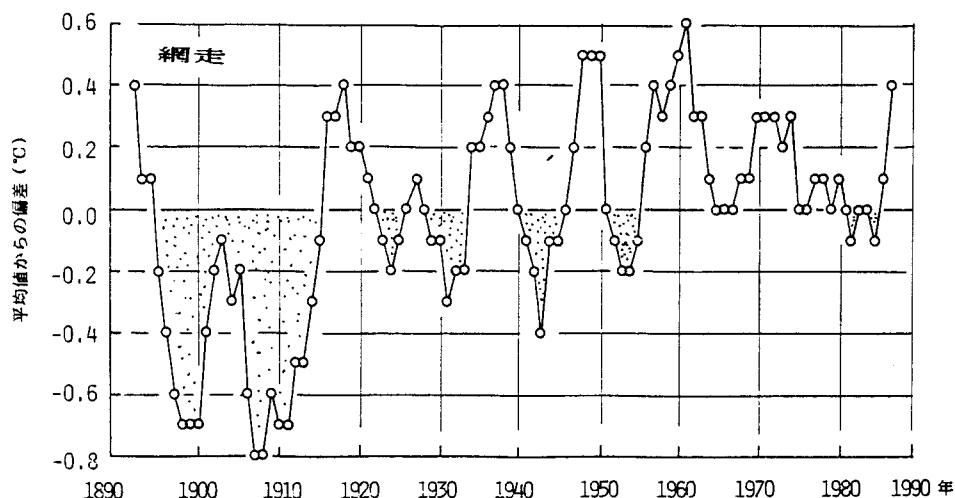


図-7 網走における年平均気温の長期変化(°C)

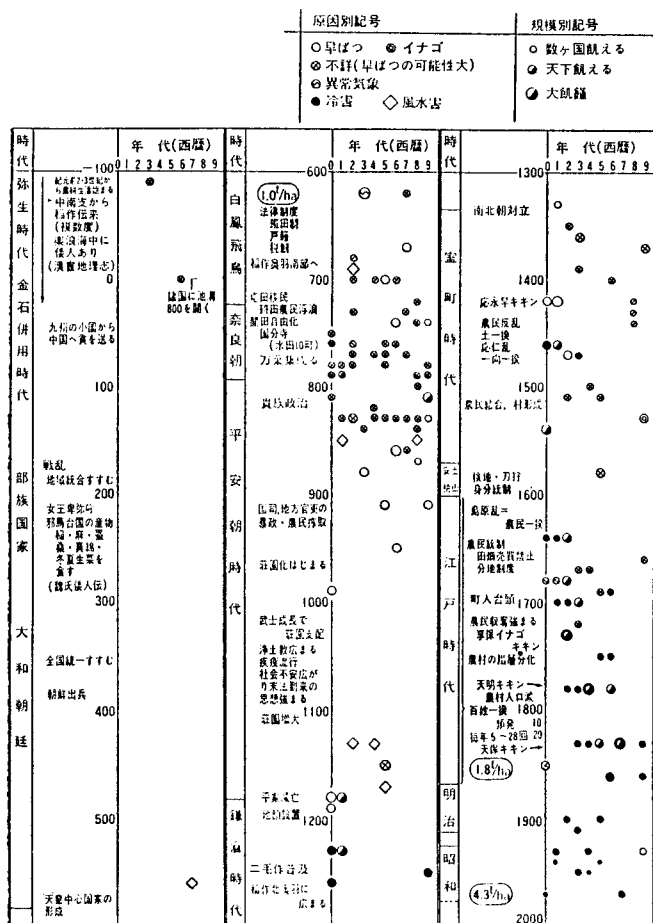


図-8 日本における農業気象災害の歴史（三原、1977）

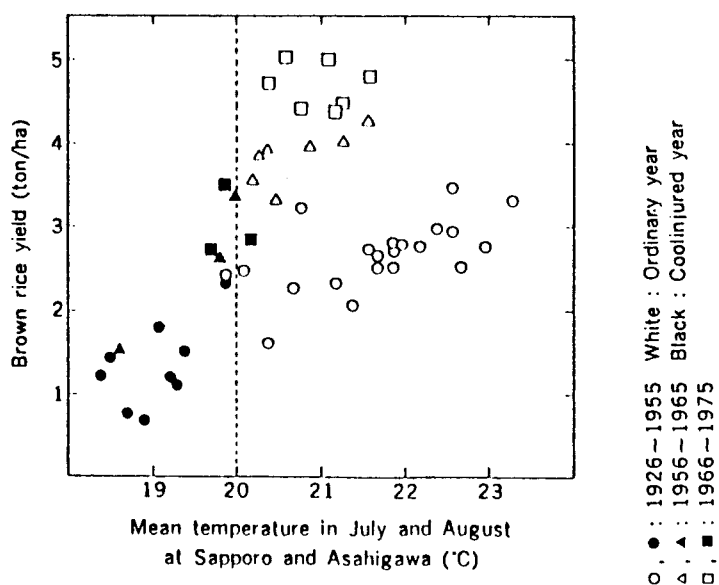


図-9 北海道の水稲収量と夏の気温の関係 (Satake, 1978)

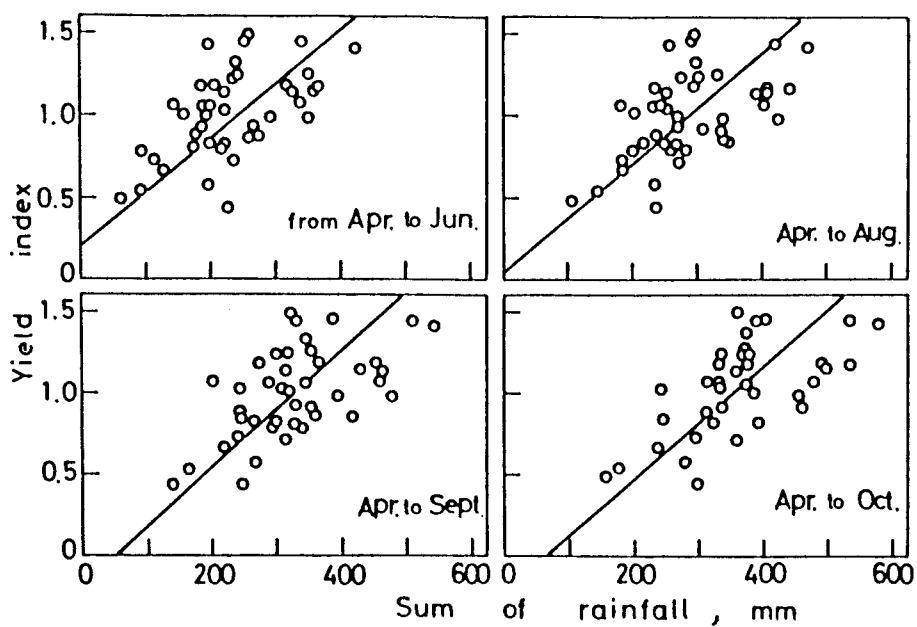


図-10 南オーストラリアにおける降水量と小麦の収量の関係 (内嶋、1977)

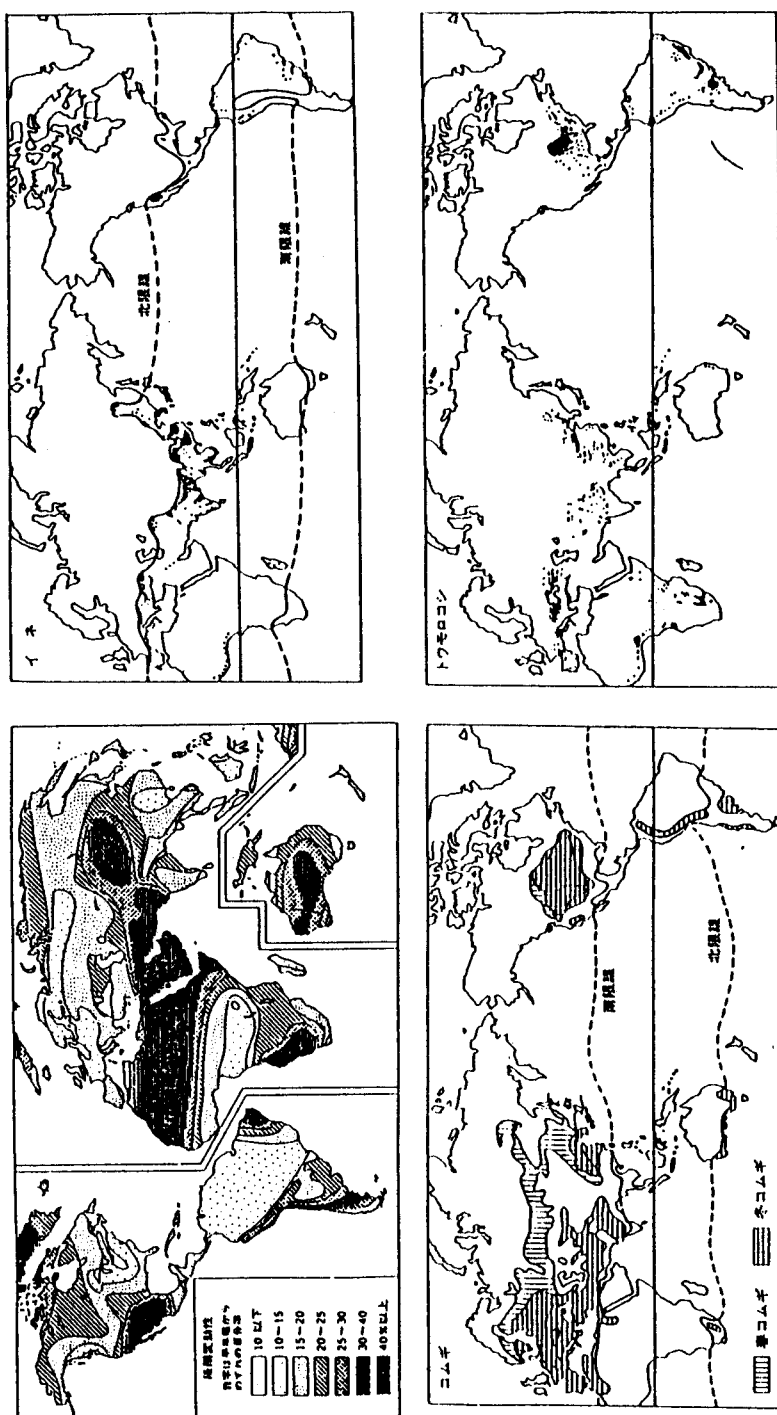


図-11 世界の降水量の変動性と主要作物の分布（内嶋、1977から合成）

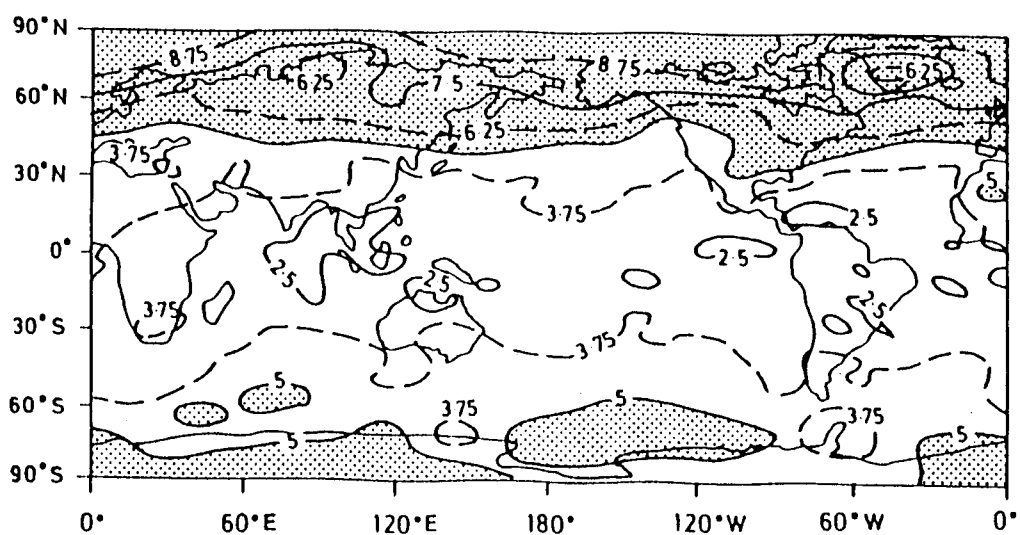


図-12 炭酸ガス濃度が4倍になったときの昇温の分布 (Manabeら、1980)

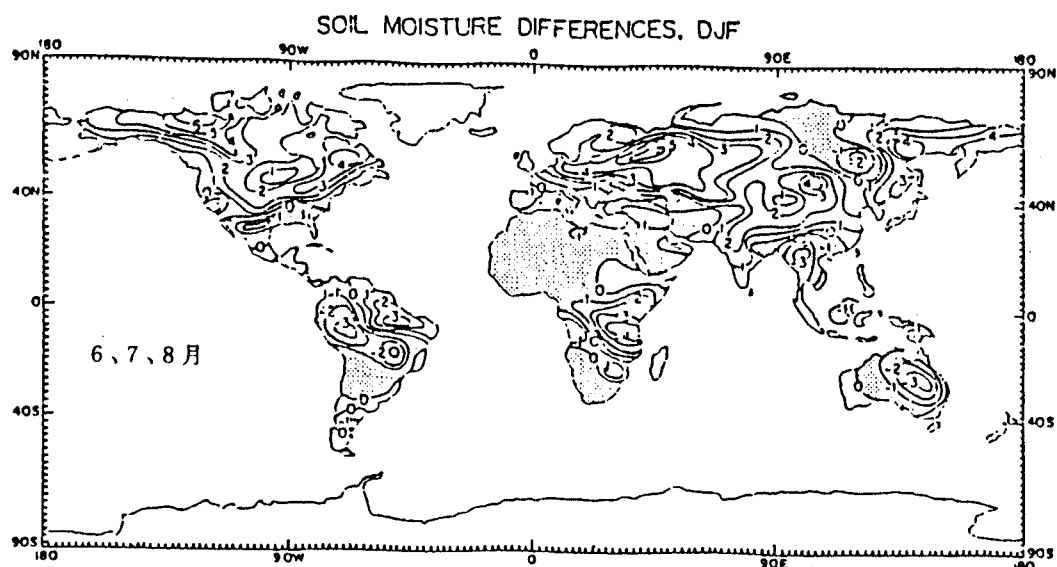


図-13 炭酸ガス濃度2倍増の場合の土壌水分分布 (Washingtonら、1984)

表-1 著しい温暖化による西暦2,000年の気象 (U.S.A)

	1977～80年			1981～90年			1991～2000年		
	頻 発	平 年 並 み	ま れ	頻 発	平 年 並 み	ま れ	頻 発	平 年 並 み	ま れ
中緯度地方で干ば つが起きる確率*									
アメリカ	0.6	0.3	0.1	0.6	0.3	0.1	0.7	0.2	0.1
他の中緯度地方	0.5	0.3	0.2	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4
サヘル地域で干ば つが起きる確率**	0.1	0.8	0.1	0.1	0.7	0.2	0.1	0.6	0.3
モンスーンが弱ま る確率***									
北西インド	0.1	0.8	0.1	0.1	0.6	0.3		0.2	0.8
他のインド	0.1	0.8	0.1	0.1	0.6	0.3	0.1	0.2	0.7
他のアジアのモ ンスーン地域	0.1	0.8	0.1	0.1	0.6	0.3	0.1	0.2	0.7

- * 頻発—1930年代および1950年代のそれぞれの初頭から中期にかけてと同程度。平年並み—今までの信頼できる記録のなかではもっとも一般的な程度。まれ—1940年代および1960年代と同程度。
- ** 頻発—1940～50年および1965～73年と同程度。平年並み—今までの信頼できる記録のなかではもっとも一般的な程度。まれ—1950～65年と同程度。
- *** 頻発—1900～25年と同程度。平年並み—今までの信頼できる記録のなかではもっとも一般的な程度。まれ—1930～60年と同程度。

北海道における農村地域の景観整備

専修大学北海道短期大学

山上 重吉

1. はじめに

農業は、その周辺に多くの関連産業を包含している総合産業であり、地域の基幹産業として位置している。同時に、農業は光、水、緑、土壌などの地域資源を省エネルギー的に利活用することにより、食糧を生産し続けるという資源管理的な役割、さらに、土地利用、国土保全、景観の維持、生態系の保全などに代表される地域空間の管理という重要な役割を任っている。

このように、農業とそれによって形成される農村地域の多面的かつ総合的な役割についての深い認識が農業政策の基本にあるからこそE Cをはじめ先進国では、自国の農業、農村を保護・維持していこうとしているのであろう。

すなわち、食糧は一時的に輸入できても、長い時間の中で培かわれた農村景観とその景観を守り育てている農業＝農村地域は輸入も輸出もできないという認識である。変化する部分の多い都市と、これをとりまく多様で落ち着きのある田園空間＝農村地域との集合体が、のぞましい国土の形成であるという認識である。

農産物の自由化の動きの中で、このような認識を広く国民に理解してもらう努力が今求められており、そのための一手段として、よりすぐれた農村地域を自ら創造していくことが重要である。

府県の農業と比較して、北海道の農業は、その冷涼な気象条件を反映して、大規模かつ多様な地域農業が専門的農家を主体に展開されている。

このような農業特性を背景に、北海道の農村景観を特色づけている各種の要因の分析と、農業生産環境の改善に深く関わっている防風林の多面的な役割の評価および緑を主体とした今後の農村地域の景観整備の方策について以下に述べる。

2. 北海道の農業と農村景観

北海道の農業は、気象、土壌、地形などの自然条件を基礎とし、農業政策の動向および社会・経済的な条件を反映しながら、各地域においてそれぞれ特徴のある農業が展開され、その地域の景観形成の基礎となっている。

北海道の農業の発展は、土地改良事業および農業構造改善事業などの各種の制度事業の実施を媒介にしながら、離農跡地の取得による経営面積の拡大と大型機械化農業の導入によってなされたといえる。平均経営面積は10.8ha（水稲 3～15ha、畑作 5～40ha、酪農20～70ha）と府県に比べて大きいことから、土地利用型農業が主体であり、専業および一種兼業からなる主業農家の占める割合が 82.9%と高いことが特徴である。

このため、北海道の農村景観は、農業生産と関連の大きい農地景観がその中心的骨格をなしているといえるであろう。

1) 多様な農業の展開

農村地域の景観は、土地利用および営農形態との関わりが大きく、北海道農業の多様性はそれぞれの地域の農地・農村景観の形成に深く関与している。

現在、北海道の農業は、水稲、畑作、酪農、果樹、園芸などの単一経営中心とそれらの複合経営に類型化されるが、地域農業レベルでは、あるまじりのある営農形態を形成している。

これらの農業立地は、地形・水文条件などにも影響されるが、寒冷地農業の特性として、とくに気象条件との関わりが大きいといえる。

気温は降水量とともに農業生産に関連に大きい気象要因であり、とくに冷涼な地域の農業は、温度条件とその変動によって強く制約をうけている。

北海道において作物の生育に影響の大きい 5月からの 8月の日平均気温の 4カ月平均値を図－1に示す。同平均値は12.2℃（根室）から17.7℃（道央内陸部）の範囲に分布している。

同平均値が14.5℃以下の地域は、根室、釧路、宗谷と網走北部に分布し、現在、草地酪農に限定されて地域と一致している。また同平均値が14.5～16.0℃の地域は、網走、十勝に分布し、これらの地域では冷涼な気象条件にも適応性のあるばれいしょ、てん菜、小麦などの畑作物が中心に栽培されている。これ

このような北海道開拓の歴史的背景と冷涼な気象条件から制約される農業形態を反映して、北海道における農村地域の集落形態は府県と比べて著しく異なっている。

すなわち、府県の農業集落の形態が、集居55%、散居19%、散在18%であるのに対して、北海道では、集居11%、散居55%、散在30%の比率を示している。また1集落あたりの平均土地面積は府県の5倍程度の規模を示し、50戸未満の農業集落が75%を占め、一般集落の集落密度も0.06~0.2戸/haとなっている。このように、北海道の農村地域は、非農家が多く居住する中心集落（農村市街地）と、これをとりまいて散在する一般集落との分化が府県より進んでおり、北海道の農村景観が集落景観よりも農地景観へと特化している根拠ともなっている。

3) 農村景観の構成

都市の景観が画一化されつつあるのに対して、農村地域の景観は、それぞれの地域の歴史、風土、気候、地形、農業生産様式などを反映して、その地域特有のものをみせてくれる。

先に述べたように、北海道の農業は冷涼な気象条件を反映して、地域農業レベルでまとまりのある営農展開がなされており、形成される農村・農地景観を特徴づけている。地域の農村・農地景観の形成と関わり合いの大きい地形、圃場区画、主な作物、農業関連施設、樹林などの各要素を営農形態別に整理した結果を表-1に示す。

幹線防風林の良く整備されている道央の美唄地域において、防風林の面積は農耕地面積に対比して約3%を占め、地域景観の形成に大きく寄与している。一方、防風林の少ない北空知の水田地帯では、平坦な水田と点在する農家住宅周辺の樹木が主な景観要素となっており、このような単調な広がりだけを見せる北空知の水田風景も、沿道並木や屋敷林などの立上がり構造が配置されることによって、落着きを増した景観に変化するだろう。

果てしなく広がる牧草地に点在するカラフルな牛舎や青色のステールサイロは、北海道の大型酪農風景を特徴づけている。また、丘陵林地を切り拓いて造成された牧草地に点在する家畜日陰林や土砂防止林も広大な景観にアクセント

をつけるランドマークともなっている。

さらに、果しなく続く小麦畑やばれいしょ畑を区画している防風林や自然保存林は、地域の生態系の保全と合せて、農地景観の形成に深く関与している。

表－１ 営農形態と景観形成要因

	水田	畑作	酪農
地形 勾配	平地 0～3°	丘陵地、平地 1～3～8°	丘陵地 3～15°
区画	号線区画 中区画	号線区画 中、大区画	大区画
主な作物	水稻 小麦（転作物） 野菜	ばれいしょ 小麦 てん菜、豆類 たまねぎ、にんじん	牧草 飼料作物
主な施設	用・排水路 ライスセンター ビニールハウス 農機具庫 農家住宅	排水路 穀物乾燥施設 貯蔵施設 農機具庫 ビニールハウス 農家住宅	排水路 牛舎 サイロ スラリータンク 農家住宅
樹木	防風林 沼沢林・河畔林 屋敷林 鎮守の森	防風林 河畔林 保存林 屋敷林	防霧林 牧野林 河畔林
景観の印象	単調な広がり	多様な変化の ある広がり	単調な大きな 広がり

4) 地域の景観資源としての農地

北海道農業の多様性は、それぞれの地域で特色のある農村・農地景観を見せてくれる。特に大規模畑作や酪農地帯の大きな広がりのある澄みきった農地景観は北海道の観光イメージともなっている。

残雪の見られる十勝岳連峰を背景に、ばれいしょの白い花、黄金色の小麦、緑鮮やかなてん菜、そして陵線に点在するカラマツ林が周永河地形固有の起伏した農地にパッチ状に織りなして造っている風景は、まさにそこに生活する農家の営農の成果であり、富良野・美瑛地域のすぐれた観光資源ともなっている。

山岳、湖沼などの大自然そのものも人々を引きつけるが、そこに人々が生活し農業の営みの中で創られてきた農地が背景の山岳と見事に融合している時、その景観は眺める人々により大きな感動を与えうるのだろう。

十勝や網走の防風林の間に広がる農地、さらに天北や根釧の酪農風景など、北海道農業のイメージを代表するスケールの大きな農業がそこにたくましく展開されてこそ、それらの景観は、優れた地域（観光）資源ともなっていることに注目しなければならない。

このように、土地、水、緑などの地域資源を有効に利用しながら、人類の生存に不可欠な食糧を生産し続け、その生産活動を通じてそれぞれの地域に固有の風土・景観を創造・維持してきたのが農業および農村地域であるといえるだろう。

3. 農村地域の樹林とその展開

農村地域における樹林は、耕地防風林に代表される農業生産保全的な植栽と、並木や屋敷林などの景観的な植栽および河畔林などの生態保全的な植栽とに分類されるが、よく管理された農業生産保全的な樹林は、優れた景観植栽的な樹林ともなっている。

すなわち、防風林、防雪、防寒林、防霧林、防霜林、水食防止林、牧野林など、農業生産環境の制御を目的として植栽された樹林帯であっても、農村景観の広がりの中では機能性と美しさという二つのものが、互いにその役割を補完しえるという性質を有している。

北海道の農村景観を大きく特徴づけている樹林として、耕地防風林がある。

北海道における防風林の形態と分布状況および防風林の有する多面的な機能について以下に述べる。

1) 防風林の分布と役割

北海道における防風林は、南空知の水田地帯と道東の十勝・網走などの畑作地帯および釧路・根室の酪農地帯に多く分布している（図－２）。

これらの防風林は分布する地域と営農形態によって、その目的・効果には表-2に示すように差異がみられる。水田では、防風に伴う水田水温と気温の上昇および水田の波立ち防止を主目的としている。畑作では、5～6月の風害・風食害の軽減が主目的であるが、畑地・草地の気温・地温の上昇による農作物の増収効果もみられる。

道東の酪農地域の防風（防霧）林では、太平洋岸からの移流霧を防止する効果がある。

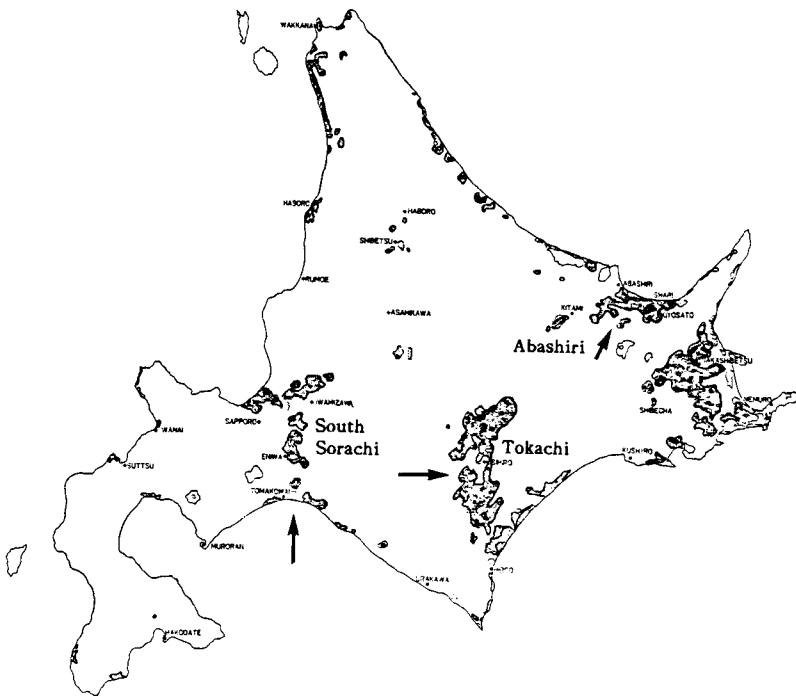


図-2 北海道における防風林の分布

表一 2 防風林の効果

営農形態	地域	風速軽減	風害・風食防止	気温上昇	水温上昇	防霧
水田	南空知	◎	——	○	◎	—
畑作	十勝・網走	◎	◎	○	——	—
酪農	根室・釧路	◎	——	○	——	◎

2) 水田地域における防風林の効果

道央の南空知の水田地域では 5～7 月の期間、オホーツク海高気圧に起因する冷気流が太平洋岸から流入し、このため水稻の冷害が発生することがある。

冷気流の流入する南空知では、冷気流の影響のない中空知に比べて、冷害年には水稻の収量は20～35%程度減収する。

耕地防風林は風速を減らし、水田水面からの蒸発量を抑制する。これによって、水田の水温・気温は 1.5～3.0℃程度上昇し、水田の微気象の改善に効果的である。この地区の防風林は町と農家によって造成され、道路敷地、用・排水路敷地および水田の畦畔などに植栽されている。

3) 畑作地域における防風林の効果

道東の十勝・網走の畑作地域では、4～5 月の降水量は50～70mm程度と少なく、その土壌は軽い火山性土が広く分布している。

このため、3m/秒以上の風が連続して吹くと風食害がみられ、てん菜やばれいしょの生育初期に風害も発生する。

風食の発生程度は、防風林の整備水準によって、また土壌の種類によっても異なるが、防風林のない圃場では10aあたり 4～10t 程度の飛散土量がみられる場合もある。

よく整備された防風林は風食害防止に効果的であるが、防風林には、

①. 耕作面積の減少、②. 木の根による養分・水分吸収、③. 日陰の発生などのデメリットもある。さらに、農業機械の大型化により、機械の作業効率を高めるため、耕地防風林（主にカラマツ林）を除去している圃場もみられる。

4) 防風林の形態と分布

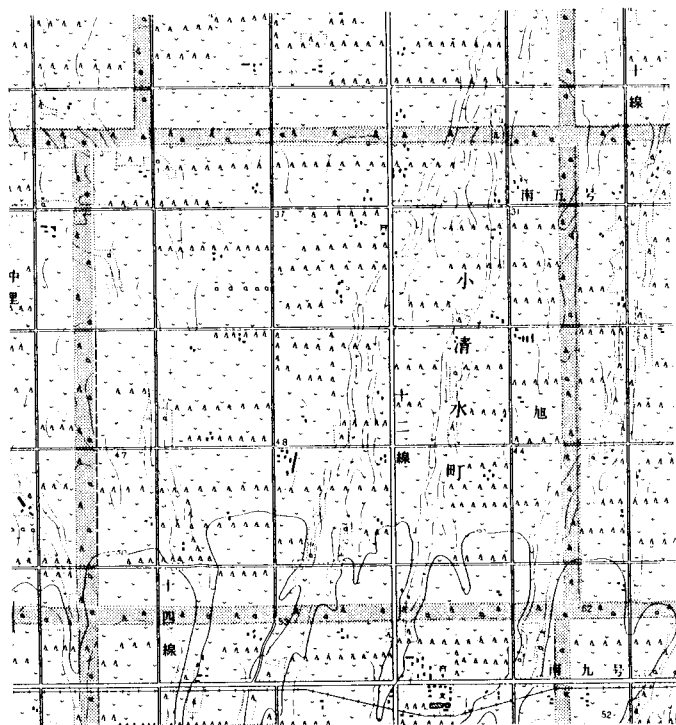
北海道では、農業開拓の土地利用区画において、防風林帯が自然林の保存と新規の造林によって造成され、その面積は41,000haに達している。

これらの幹線防風林帯では間隔が広すぎて十分な防風効果がえられていない圃場があるため、農家は別途に耕地防風林を圃場に造成しており、その面積は7,300haで、総延長は17,000kmである。

道東の小清水地区の幹線防風林（防風保安林）と耕地防風林の配置を図－3に示す。幹線防風林の間隔は2,200m程度で、その間に90～270m間隔の耕地防風林がみられる。

幹線防風林と耕地防風林の特徴を表－3に示す。幹線防風林の林帯幅は50～180m、樹高は15～30mで林床の植生は豊富かつ多様であり、ミズナラ・ハルニレ・ヤチダモなどで構成されている。

耕地防風林の林帯幅は5～30m、樹高は7～15mでカラマツ・シラカバ・ヤナギなどで構成され、林床の植生は幹線防風林に比べて単純である。



図－3 小清水地区の幹線防風林と耕地防風林の配置

表－3 防風林の形態

	幹線防風林		耕地防風林
	自然林	人工林	人工林
主な樹種	ミズナラ ハルニレ ヤチダモ	ドイツトウヒ カラムツ シラカバ ヤチダモ	カラムツ シラカバ エゾカワヤナギ (水田地帯)
林帯幅 (m)	50～180	30～50	3～10
間隔 (m)	2200	500～2200	90～270
樹高 (m)	20～30	15～20	5～15
樹齡	50～150	30～50	5～30
林床の植生	多様・豊富	やや単純	単純
生息動物	豊富	やや少ない	少ない
植栽地	保安林用地	保安林用地	圃場境界 道路・水路敷地

5) 防風林の生態的評価

防風林には、それぞれの地域の気象特性に対応した農業生産環境の改善や個性的な地域景観の形成という評価に加えて、農耕地のような人工環境における自然生態系の保全という観点からの評価も考えられる。

その一事例として、美唄市周辺の防風林に出現する鳥類の調査（1991. 正富 宏之）結果を紹介する。

調査地は、構成樹種の異なる 3つの防風林（幅35～70m、長さ 1.100～1.600 m）で、対照区は水田・草地を主とする地点の農道（1.600m）である。

調査は 4月から12月まで各地点を 7回、ライントランセクト法により、林縁をほぼ時速 1.5 kmで歩き林内に出現する鳥を記録している。

各調査地における優先上位 7種の h a あたりの記録羽数を表－4 に示す。

広い耕地と点在する農家という環境では、植生ならび地被構造の単純化に伴って、そこに生息する鳥類の種と個体数は、それほど豊かなものにならないが、防風林が加わることによって、地域への出現数はほぼ 2倍まで達し、単位面積

あたりの羽数も最大で耕地の 2.2 の水準を維持するまでになる。

このように、防風林は人工的環境における鳥類保護の観点からも大きな役割を果たしているが、鳥類を引き付ける条件としては、繁殖地として形態的（空間的）な多様性を備えていること、採餌に適していること、シェルターの機能を持つことなどが考えられる。

表－4 各地調査地における優占上位 7 種

順位	ヤチダモ・ハンノキ林		カバ・マツ混生林		ヤチダモ林		農道	
	種	羽数/ha	種	羽数/ha	種	羽数/ha	種	羽数/ha
1	ツグミ	1.37	カワラヒワ	2.61	カワラヒワ	1.13	ムクドリ	1.16
2	アオジ	1.11	アオジ	0.89	カシラダカ	1.04	スズメ	0.69
3	カワラヒワ	1.09	シメ	0.83	アオジ	0.71	ハシボソガラス	0.27
4	カシラダカ	1.06	キジバト	0.65	キジバト	0.42	カワラヒワ	0.20
5	ムクドリ	0.91	ヒヨドリ	0.56	シジュウカラ	0.38	オオジュリン	0.19
6	ヒヨドリ	0.73	ハシボソガラス	0.45	ムクドリ	0.31	ノビタキ	0.16
7	キジバト	0.42	ツグミ	0.29	ヒヨドリ	0.24	ヒバリ	0.16

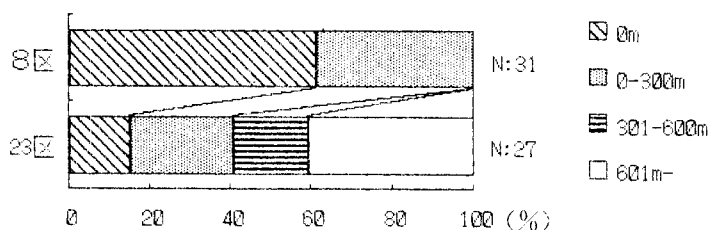
6) 防風林整備に対する農家意識調査

防風林の防風効果を高めるには圃場単位でなく、広範囲な面的整備が必要であり、防風林の設置と維持管理の問題を含め、少なくとも集落を単位とした整備が求められる。しかし、防風林にはプラス効果だけではなくマイナス効果が伴うため、水田防風林が必要とされる地域でも防風林整備が遅れているのが現状である。

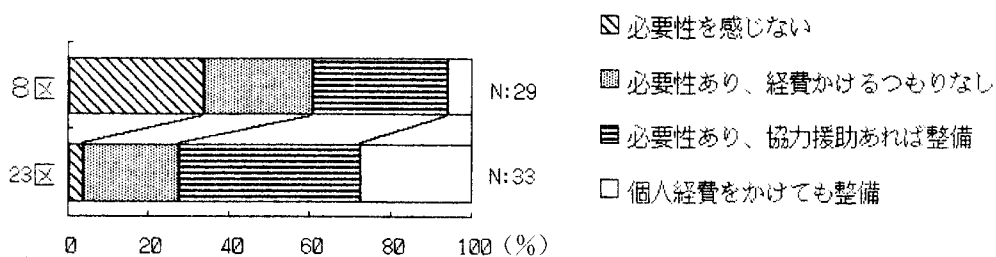
このため、防風林整備に対する集落単位での農家意識の問題点を把握するため、長沼町において実施した調査（1991. 小林 昭裕）結果の概略を以下に紹介する。

調査方法は、冷涼な偏東風の影響を同様に受けると考えられる長沼町の23区（耕地防風林の整備された集落）と 8区（耕地防風林の整備の遅れている集落）である。

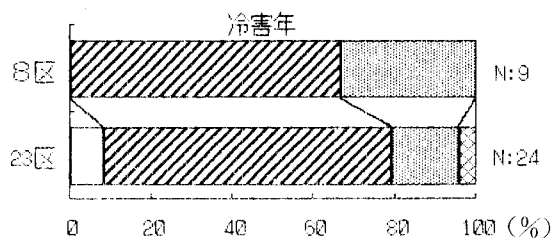
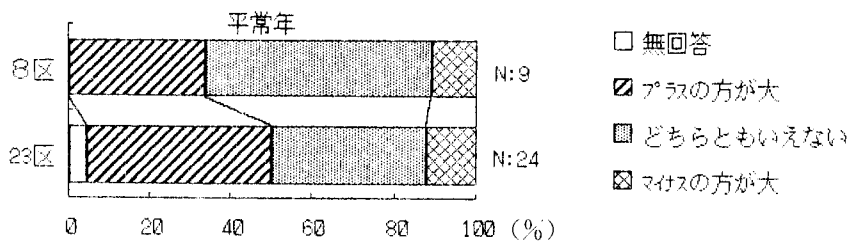
①. 両地区の所有する耕地防風林の長さは、23区では 6割の農家が 300m以上の耕地防風林を有しているが、8区では逆に耕地防風林をもっていない農家が 6割を占めている（図－4）。



図－４ 所有する耕地防風林の長さ



図－５ 防風施設導入の必要性



図－６ 防風林の稲作生産に対する効果

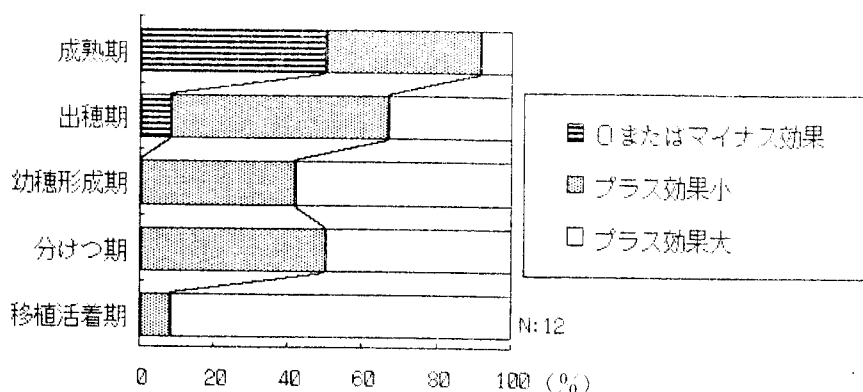


図-7 稲の栽培ステージに対する防風林の評価

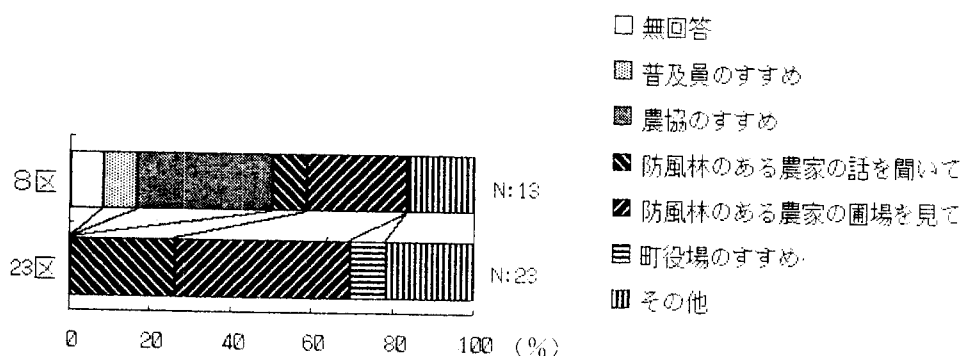


図-8 防風林を整備するきっかけ

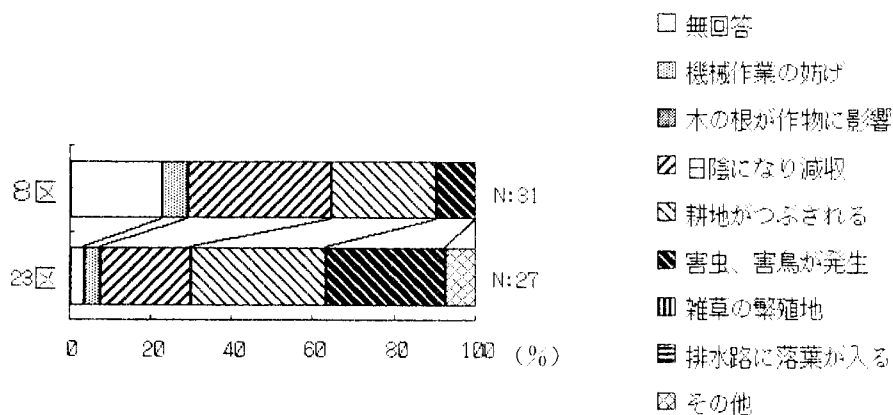


図-9 耕地防風林を植栽した場合の最も強いマイナス影響

②. 防風施設の必要性については、両地区間に整備意欲の違いが認められたものの、大半の農家が防風施設導入の必要性を感じている（図－５）。

③. 稲作生産に対する防風林の効果については、両地区とも冷害年での防風林のプラス効果を平常年より高く評価しているが、平常年においても23区は8区よりもその効果を高く評価している（図－６）。

④. 稲の生育ステージごとの防風林の効果については、移植・活着期でのプラス効果が最も高く、ついで幼穂形成期・分けつ期であり、成熟期の効果は小さくなっている（図－７）。

⑤. 防風林整備のきっかけとしては、「防風林をもつ農家の話を聞いて」や、「その圃場を見て」が23区で6割を占めており、実際に防風林の効果を農家自らが体験したことが大きなきっかけとなっていると思われる（図－８）。

⑥. 耕地防風林の最も望ましい場所として、日陰やつぶれ地の影響の少ない道路沿いを選択している農家が高く、ついで水路沿いや畦畔があげられている。

⑦. 耕地防風林のマイナス影響としては、日陰による減収、耕地がつぶれる、さらに害虫・害鳥の発生などがあげられる（図－９）。

23区と8区を比較した結果、8区での防風林整備に対する取り組みの立ち遅れが判明したが、その背景には、防風林の実際の植栽手順や経費の行政依存の傾向に加えて、後継者問題や経営面積の大きさなど、地区農家の農業経営の問題点とも深く関わっている。

したがって、今後の整備対策として、

- ①. 防風林のマイナス効果の実態把握に基づいたマイナス面を抑える技術開発（植栽位置・日陰地の利用方法など）
- ②. 集落としてのまとまりを醸成するための集落内の話し合いの促進、共同作業をする機会の設定
- ③. 防風林整備の農家との積極的な情報交換などが考えられる。

4. 農村地域の景観整備

1) 農村景観整備の意義

農村地域は、農林業の生産を基礎とした地域住民の生活の場であると同時に、

国土の保全および豊かな自然生態系の保全の図られている地域として位置づけられている。しかし、従来の農村地域における基盤整備は、農村の生活環境の整備を一つの柱としつつも、用・排水路、圃場整備、農道、農地開発などの農業生産性の向上に重点をおいた整備が主体であり、これらの基盤整備においては、経済性や効率性が、より重視されてきた。一方、国民の価値観の変化は、ゆとりややすらぎなど生活環境の質をも重視するようになっており、農村地域のもつ自然や歴史や風土などは、国土の快適な環境形成において評価されるようになりつつあり、以下のような農村の在り方が求められている。

① 農村整備の基本的方向としての美しい農村の形成

都市に少ない緑、水、森林などの自然と農地との一体性を生かした総合的な地域景観の形成。

② 住民による地域の景観形成

地域住民の生活の中に溶け込んだ景観づくり。住民～行政～専門家の新たな結合による地域景観の形成。

③ 農業を基盤としたまちづくり戦術としての景観形成

地域のすぐれた農地景観と農産物を媒体とした農村地域の活性化を促進する景観形成

④ 生態系を配慮した農村環境づくり

動植物などの自然生態系の保全という視点からの景観形成。

⑤ 地域コミュニティの形成

農業集落の共同体としての結びつきを強め、さらに都市と交流をも模索しえる景観形成。

このように、農業・農村の有している多面的な機能をさらに展開するため、それぞれの地域の自然や風土に根ざした新たな農村景観の形成は、地域整備の基礎的なテーマとなりつつある。

すなわち、農村景観の整備は、そこに生活する住民はもとより、地域外の人々に対しても地域イメージの向上さらには地域資源の管理者としての農林業の役割についての国民的理解をうる有効な手段ともなりえる可能性を有している。

2) 北海道における農村地域の景観整備

先に述べたように、北海道の農村景観は、集落景観よりも農地景観の占める比率の高い地域が広くみられる。また、多様な営農形態を反映して、それぞれの地域において特色のある農村景観が形成されている地域も多くみられる。

一方、農村市街地などの集落景観は、その歴史的蓄積の不足から、その整備水準は必ずしも高いとはいえず、とくに道路並木、農村公園、屋敷林、河畔林、地域林など地域の緑化に関わる分野での再整備が求められている。

このためには、地区ごとの景観整備の目標（地域緑化計画）の作成と、その具体的な展開のために、行政－住民－専門家のそれぞれの役割分担における主体的な取り組みが景観整備の基盤となるであろう。

地域の緑化を総合的に推進していくためには、

- ①. 土地利用の適性化、保存樹木や緑地の指定、開発行為の規制などを含む緑の保全施策
- ②. 緑地の確保・造成や各種事業による緑化を進めるための緑の創出施策
- ③. 緑とのふれあい施設、緑化教育や住民による緑化の推進などの緑との交流施策
- ④. 緑の調査研究、緑化樹木の確保、緑化広報と緑化組織の充実などの緑

を育む施策などを体系的かつ総合的に進めることが必要であり、その検討および具体化の過程こそが新たな農村づくりといえる。さらに、農村環境の整備においては、①. 農業生産（経済性）、②. 生態系の保全、③. 地域経済、④. 農家および集落の考え方などと景観形成について各種の調整が当然必要とされる。地域景観形成を推進していくエネルギーは、地域住民および行政の地域についての再評価と愛着であり、「水と緑と人間の回廊」を目指した新たなまちづくりへの動きが期待される。

6. あとがき

確かに社会的利便性については、農村地域は都市よりも明らかに不利である。しかし、交通および情報化の著しく発達した今日、自らの日常生活と密接する場所において豊かな田園景観を展開することが可能な地域に生活する人々の方が、より本物の豊かさを持っているとも考えられる。

田園空間の有する「静けさ」、「広大さ」、「ゆっくりとした時間の流れ」、「季節の変化の美しさ」などのすぐれた特性を再評価し、さらに発展させることは、農村地域活性化のための極めて有効な手段の一つとなるかもしれない。

このためには、農村地域の生活環境、生産環境、さらに自然環境を含めた総合的な地域整備と、地域社会による土地・水・緑などの地域資源の共同管理・保全システムを形成することが重要となってきた。

すなわち、与えられた自然と調和しつつ、田園地域特有の広大さ・美しさなどの特性を発展させることで、圃場・樹林・河川・集落を媒介にしたすぐれた農村景観を形成しているのが地域としての農村の特質であり、そのためには、農村地域はもとより、都市住民の田園地域の景観に対する誇りと理解が前提となるであろう。

最近、今後の農業技術の展開方向として、「持続的農業」が注目されているが、地域農業の持続性を保証する前提条件は、農家および生産性の高い農地の保全であり、地域農業システムの構築に向けての地域社会での取り組みと合せて、農業の基本的価値を持続するための社会政策＝地域保全を目指した農業政策の検討が求められている。

参考・引用文献

- 1) 小林 昭裕 (1988) 空知における農村景観の展開、
専修大学北海道短期大学・地域農業研究会
- 2) 山上 重吉 (1991) 北海道幹線水路系の評価と多角的利用、
土地改良事業の環境的側面の検討
札幌開発建設部岩見沢農業事務所委託調査
- 3) 正富 宏之 (1991) 美唄市周辺の防風林の生態的評価(2)、
防風林に出現する鳥類の調査、
同上委託調査
- 4) 小林 昭裕 (1991) 南空知地域の農村整備に関する調査(Ⅲ)
長沼町における防風林整備に対する農家意識調査、空知支庁委託調査
- 5) 滋賀県 (1988) 農村地域における修景・緑化マニュアル
- 6) 北見市 (1987) 第3期北見地域緑化推進計画書



号線区画された水田と散居住宅
(南幌)



中空知の水田景観



道路沿いのヤチダモ防風林(南幌)



幹線防風林の整備された水田
(南幌)



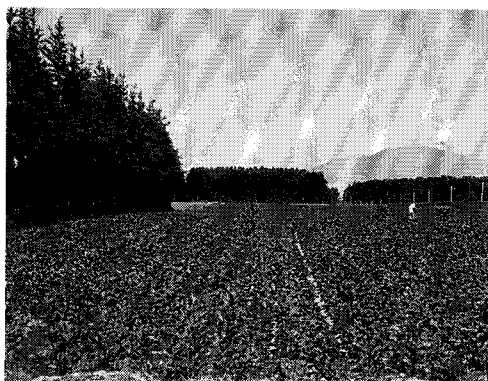
幹線排水路と防風林(長沼)



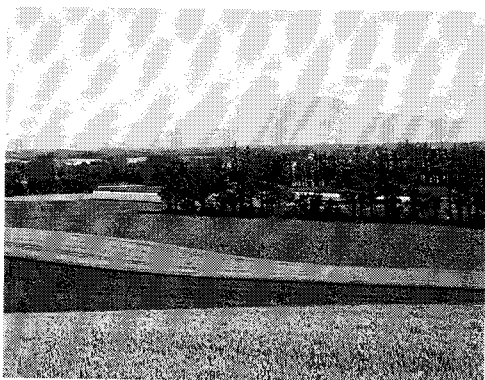
生垣のある農家住宅(岩見沢)



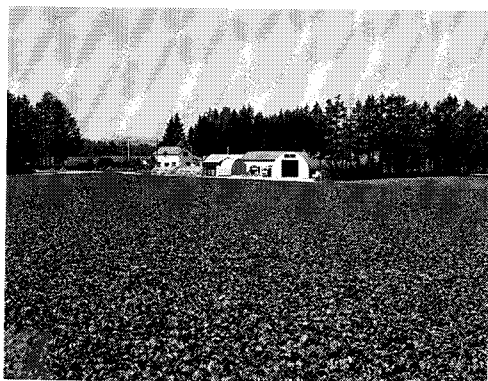
幹線防風林と耕地防風林の配置



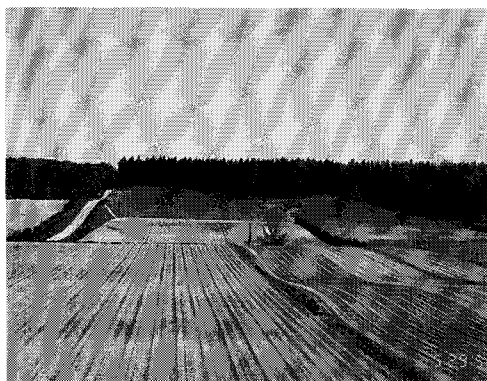
カラマツ耕地防風林（小清水）



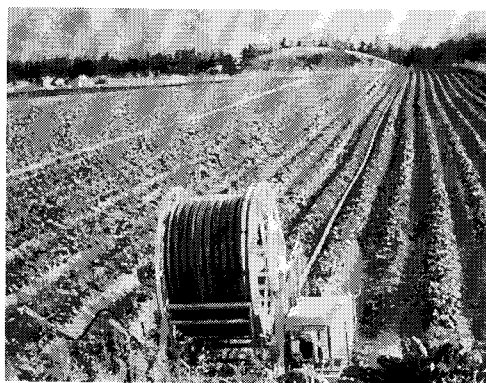
斜里岳を背景にした畑地景観



屋敷林に囲まれた農家住宅



区画整理された畑地



リール式・スプリンクラーによる
灌漑風景



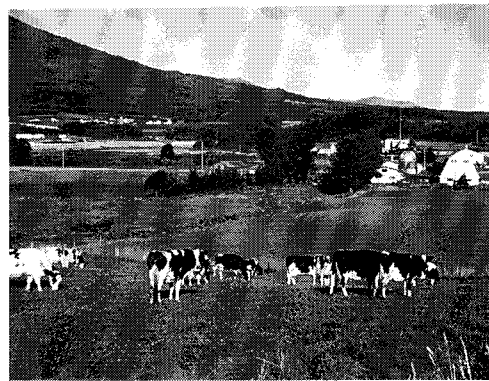
丘陵草地と保存された林地



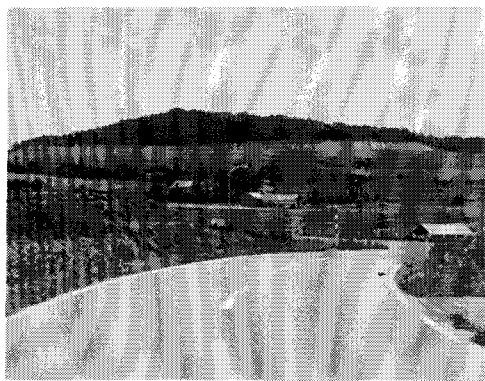
採草地に点在する乾牧草



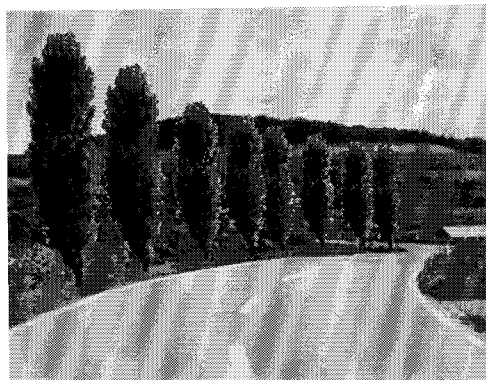
酪農地帯の幹線道路



乳牛の放牧風景（後志）



正面に改良山成工の切土面がみえる



コンピュータ・シュミレーション
による並木の修景

北海道におけるUSLEの適応について

帯広畜産大学

辻 修

I. はじめに

北海道は、わが国の中でも大規模畑作地帯として発展してきており、その施設や圃場は大規模なものとなってきた。それとともに、農用地造成地区も平坦地から傾斜地への移行が進み、広い範囲での畑地造成および草地造成がおこなわれている。これら造成事業の拡大による圃場面や法面の侵食、周辺環境への土砂流亡被害が大きな問題となっているが、その防止対策としての排水路、沈砂池、土砂溜等の規模や構造を計画する上で、基本となる流亡土量の適切な推定方法の確立が望まれている。

現在、米国において標準的な土壌流亡予測式として定着しているUSLEの(Universal soil loss equation)わが国での適用が検討されつつあるが、ここでは北海道においてその適応試験をおこなってきた北竜町国営北雨地区の観測結果を中心に北海道におけるUSLEの適応について紹介することにする。

II. USLEについて

この式は、米国においてWischmeier, Smithらが中心になって開発されたもので、米国農務省(USDA)土地保全局の汎用土壌流亡式として数量化が可能になったもので次のように示される。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{-----}(1)$$

ここで、

A : 予測流亡土量

R : 降雨係数

K : 土壌係数

L : 斜面長係数

S : 傾斜係数

(LとSをひとつにして、傾斜斜面長係数LSとすることが多い)

C：作物管理係数

P：保全係数

1. 降雨係数

降雨係数は、一連続降雨ごとの降雨エネルギーEと、その降雨の30分間ピーク降雨強度 I_{30} の積の年間合計値である。

ここで、一連続降雨とはその合計雨量が13mm以上であり、その無降雨期間は6時間以内のものである。ただし、降雨強度が15分間に6.5mm以上ならば、一連降雨と考える。

降雨係数の数値化については次の方法による。

$$E_k = 210 + 89 \log_{10} I \quad (\text{m} \cdot \text{t} / \text{ha} / \text{cm}) \quad \text{-----} (2)$$

I：一連続降雨中の各10分間降雨強度(cm/hr)

$$E = E_k \times r \div 100 (\text{hundred of } \text{m} \cdot \text{t} / \text{ha}) \quad \text{-----} (3)$$

r：一連続降雨中の各時間降雨量(cm)

ここで一連続降雨における降雨係数E I 値は

$$E I = \Sigma E \times I_{30} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{t} / \text{ha} / \text{hr}) \quad \text{-----} (4)$$

I_{30} ：一連続降雨中の30分間ピーク降雨強度(cm/hr)

ゆえに降雨係数Rは(4)式の1年間の合計値で示される。

$$R = \Sigma E I \quad (\text{m}^2 \cdot \text{t} / \text{ha} / \text{hr}) \quad \text{-----} (5)$$

2. 傾斜斜面長係数 LS

USLEにおいては、斜面長(L)と傾斜度(S)を組み合わせたLSを傾斜斜面長係数として用いる。数式としては式が用いられる。

$$LS = (\ell / 22.1)^m \cdot (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \text{ ----- (6)}$$

ℓ : 斜面長(m)

θ : 傾斜角(度)

m: 傾斜が5%以上のとき 0.5

傾斜が3.5～4.5%のとき 0.4

傾斜が1～3%のとき 0.3

傾斜が1%のとき 0.2

3. 土壌係数 K

土壌係数とは、土壌の侵食能の係数で吸水性、降雨および流出による剝離・輸送に抵抗する性質など、それぞれの特性の組合せを含む、土壌の侵食に対する反応性の尺度である。もし裸地で、上下耕を施している圃場の場合の土壌係数を算出するには(1)式を変形して求めることができる。

$$K = A/R \cdot LS \text{ ----- (7)}$$

また、USLEでは土壌の粒度組成、有機分含有量、土壌構造、透水性から土壌係数を求める推算式も示されている。

$$K_u = 0.01 \{ 2.1 M^{1.14} (10^{-4}) \cdot (12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3) \} \text{ --- (8)}$$

ここで、 M: 粒形パラメータ=シルト%×(100-粘土%)

a: 有機物含有量(%)

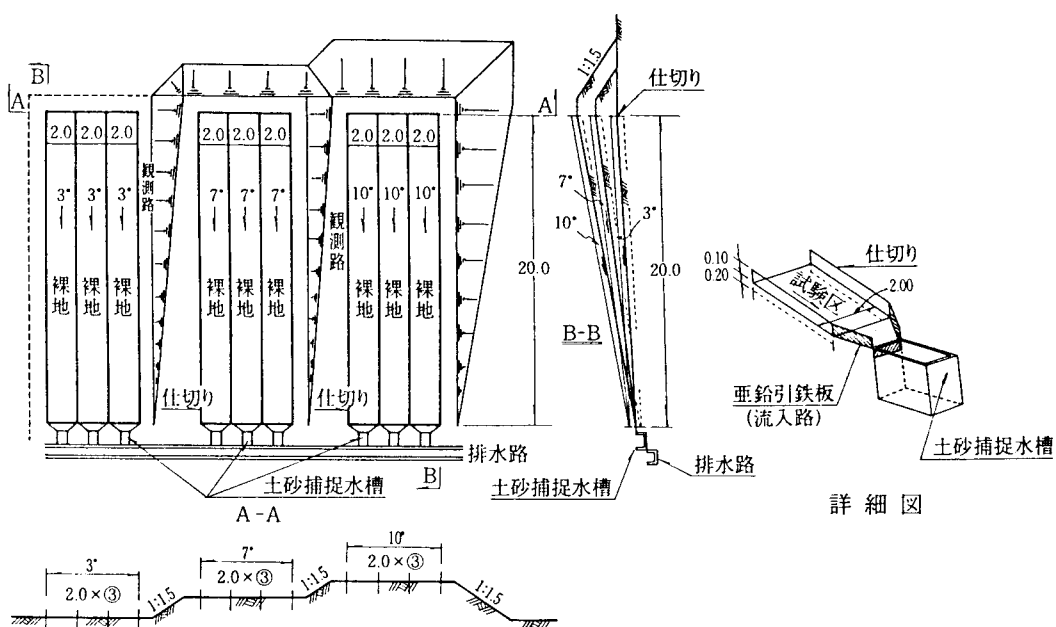
b: 土壌構造コード

c: 土層透水性級位

Ⅲ. 試験圃場

この試験は北海道雨竜郡北竜町と雨竜町にまたがる国営農地開発事業北雨地区の一圃場内において行われた。

試験圃場は、図1に示す標準試験区と圃場斜面侵食調査区である。標準試験区は、圃場勾配が3度、7度、10度の3種類からなり、それぞれ3連で合計9カ所の試験圃場である。この試験区では斜面勾配による流亡土量観測を行った。圃場斜面侵食調査区では、流亡土量抑制の保全施設としての承水路の規模や構



$L = \text{斜距離}$ $\alpha = 10^\circ$

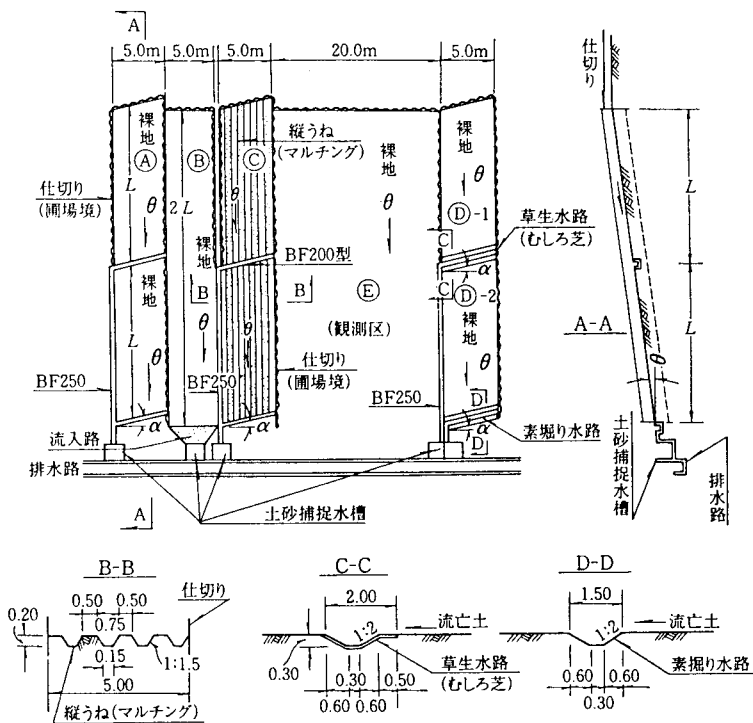


図1 試験圃場

造を計画・設計するための承水路の相違による流亡土量観測を行った。調査区ごとの特徴を表1に示す。

表1 圃場斜面侵食調査区の各圃場の特徴

圃場名	特徴
A	承水路はコンクリート水路で流路方向に対し斜め（ $\alpha = 10$ 度）となっている
B	対照区
C	圃場面は縦畝状態で、承水路はコンクリート水路
D1	承水路は素掘水路
D2	承水路は草生水路
E	リル，ガリ侵食の観測区であり、流亡土量の観測は行っていない

2．供試土壌

試験圃場の土性は、日本農学会法では植壤土、国際土壌学会法では軽埴土 (LiC)に分類され、砂が全体の半分、シルトあるいは粘土が残り を占めた。また、工学的分類基準である日本統一土質分類法によると0.42mm以下の細粒分が多いことから粘質土 (CL)に分類される。

土壌の耐水食性の指標である分散率および侵食率は両方ともほぼ30%～50%の範囲内にあり、侵食を受け易い受食性土壌である。有機物含有量は1%程度であった。

3．試験期間における降雨状況

調査期間であった1986年～1990年までの5年間の北雨地区における月降水量を表2に示す。

1986年における最も月降水量の多い月は9月の150.5mmで、最も少ない月は6月の9.5mmであった。年降水量は観測期間で最も少ない979.5mmであった。

1987年においては最も月降水量の多い月は7月の153.5mmで、最も少ない月

表2 観測期間の月降水量

(単位 ; mm)

	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年	平均
1月	121.0	108.0	88.5	38.0	108.0	92.7
2月	100.0	49.5	99.0	29.0	60.0	67.5
3月	52.0	61.5	30.5	37.0	29.0	42.0
4月	105.0	66.5	63.5	58.0	81.0	74.8
5月	65.0	53.5	51.0	54.0	59.0	56.5
6月	9.5	31.0	69.0	54.5	67.0	46.2
7月	68.0	153.5	33.5	36.5	66.0	71.5
8月	71.0	105.5	484.0	224.0	120.0	200.9
9月	150.5	70.0	53.0	202.0	257.0	146.5
10月	99.5	99.0	150.0	156.0	99.0	120.7
11月	72.5	115.0	106.5	150.0	137.0	116.2
12月	65.5	72.0	169.0	119.0	133.0	111.7
合計	979.5	985.0	1397.5	1158.0	1216.0	1147.2

は6月の31.0mmであった。また年降水量は1986年と同程度の985mmであった。

1988年においては1月から7月までは月降水量が100mmに達した月はなかったが、8月の月降水量が484.0mmと突出している。これは8月25日から26日にかけての415mmの大雨によるものである。この月だけで年降水量の1/3の雨が降った。また観測期間において最も降水量が多い月になった。最も月降水量が少ない月は3月の30.5mmであった。年降水量は観測期間で最も多い1397mmであった。

1989年においては1月から7月に降水量が少なく、8月から12月は降水量が多かった。最も月降水量が多い月は8月の224mmで、最も少ない月は2月の29mmであった。年降水量は1158mmであった。

1990年においては9月の月降水量が他の月に比べて257mmと突出して多かった。最も少ない月は3月の29mmであった。年降水量は1216mmであった。

流亡土量観測期間の降水量を総括すると 調査期間 5 年間の年平均降水量は 1147.2mmであった。そして年降水量の多い順は1988年、1990年、1989年、1987年、1986年であった。またこの地域は春から初夏にかけては降水量は少なく 8 月から冬にかけて降水量が多かった。特に、8 月下旬から 9 月上旬にかけて集中した雨が多く見られた。また冬は北雨地区が日本海側に位置するため降雪による降水量が多かった。

IV. 北雨地区における USLE 係数

1. 降雨係数について

流亡土量と降雨係数との関係を各試験圃場別に図2に示す。ただし、標準試験区の流亡土量は 3 試験圃場の平均値である。

降雨係数と流亡土量の関係は、全ての圃場において直線的関係にあり、その相関係数も $r=0.901\sim0.999$ と非常に高い相関を示し、降雨係数による流亡土量の推定は可能であると思われる。

しかし、観測年は 5 年と非常に短く1988年の値を除くと相関係数が低くなる。また流亡土量が発生しない年があったり、降雨係数が比較的高いにもかかわらず流亡土量が少ない場合やこれに対し、降雨係数が低い割に流亡土量が多い場合があるため今後の長期にわたる資料の蓄積が必要であると考えられる。

2. 傾斜係数について

標準試験区の流亡土量の結果を年次別に図3に示す。

これより最も流亡土量が多く発生した試験区は、1986・1989年は10度試験区であるが、1987・1988・1990年は7度試験区であった。USLEの傾斜係数を適応すると傾斜角度が大きくなると流亡土量が増加するが、この調査では5年間のうち3年において7度試験区の流亡土量が多くなった。

そこで、各試験区の傾斜角度と流亡土量の関係を見るため各傾斜圃場の流亡土量を基準としてUSLEのLS係数を使用し、他の傾斜圃場の流亡土量を推定し、その比較を行った結果例を図4に示す。

これより、1988年の3度試験区と7度試験区においては実測値と推定値がほぼ一致したが、この場合を除いては、実測値と推定値では差が生じた。特に19

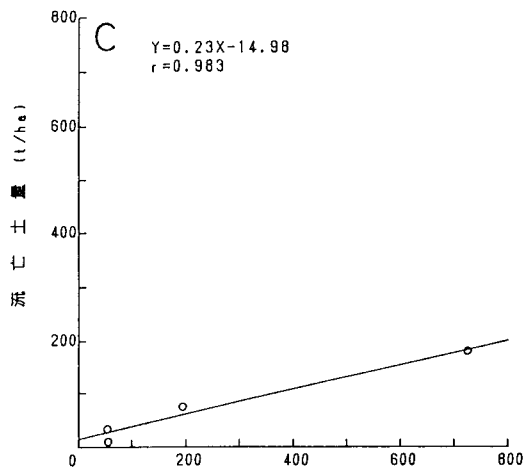
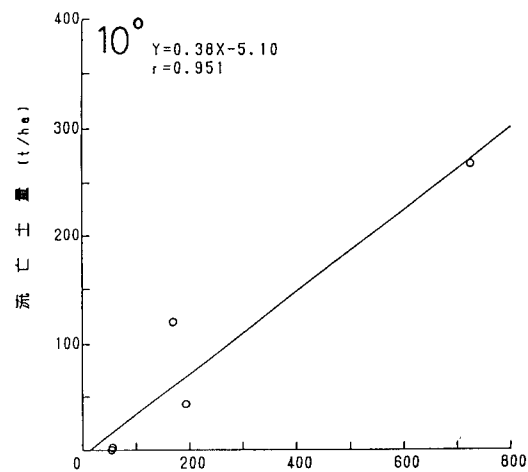
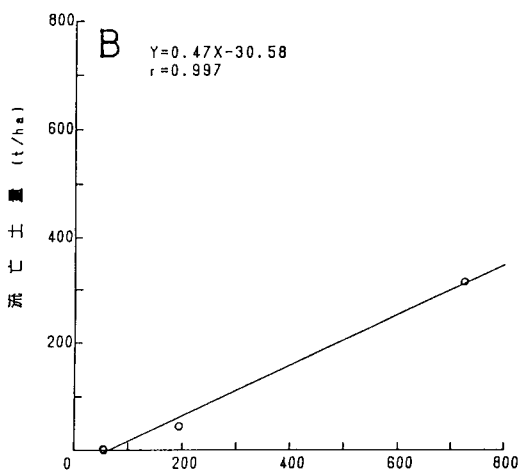
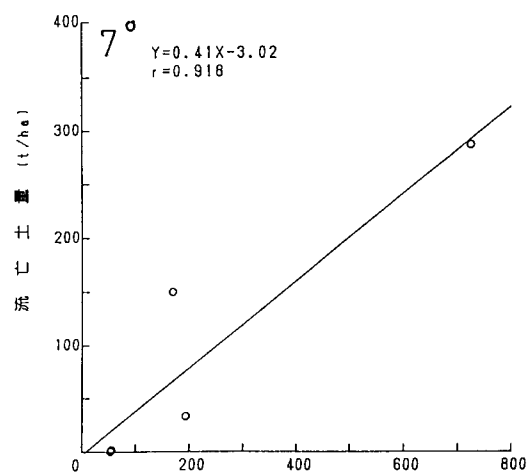
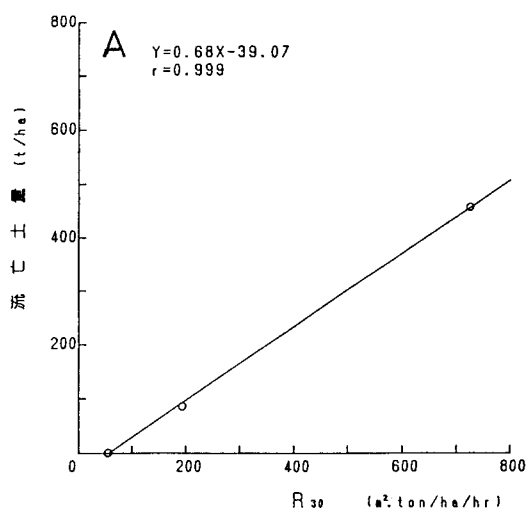
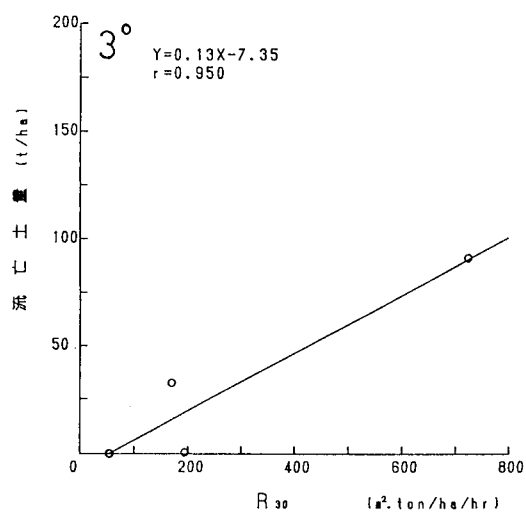


図2 流亡土量と降雨係数の関係

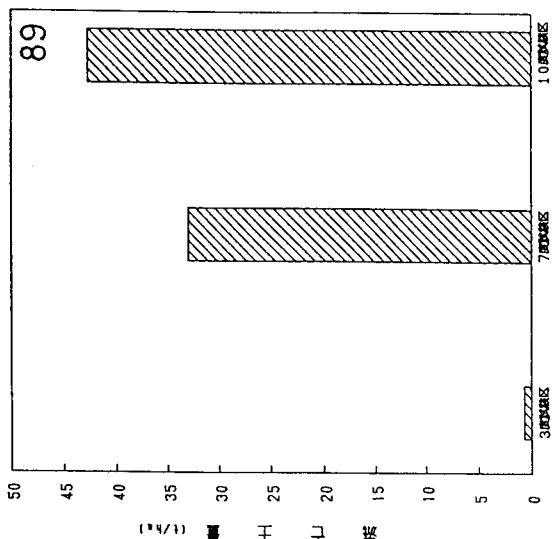
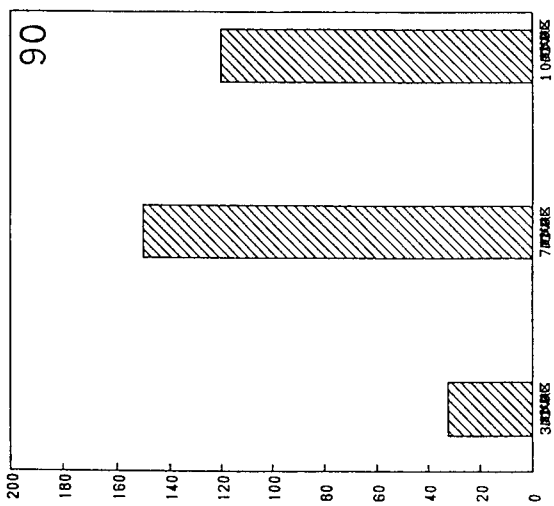
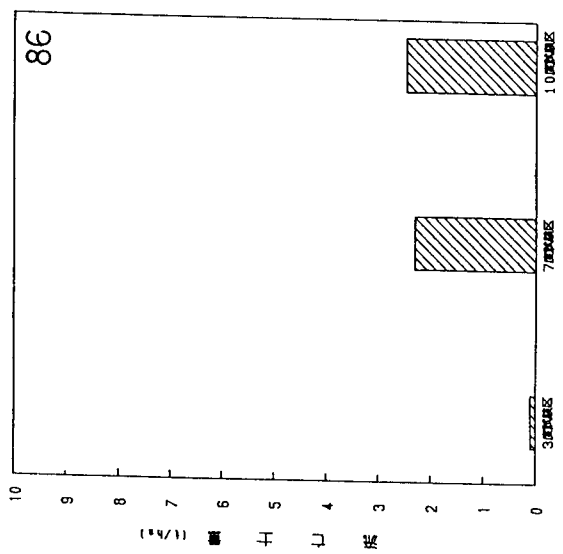
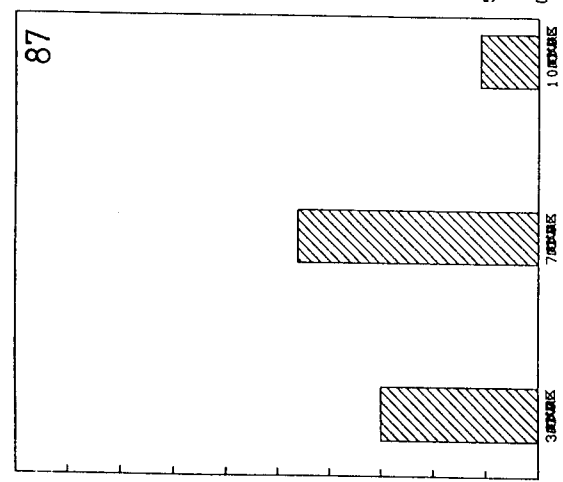
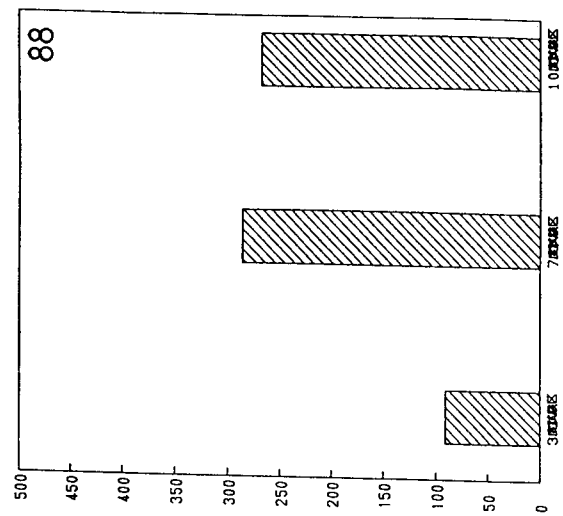


図3 傾斜別の流亡土量

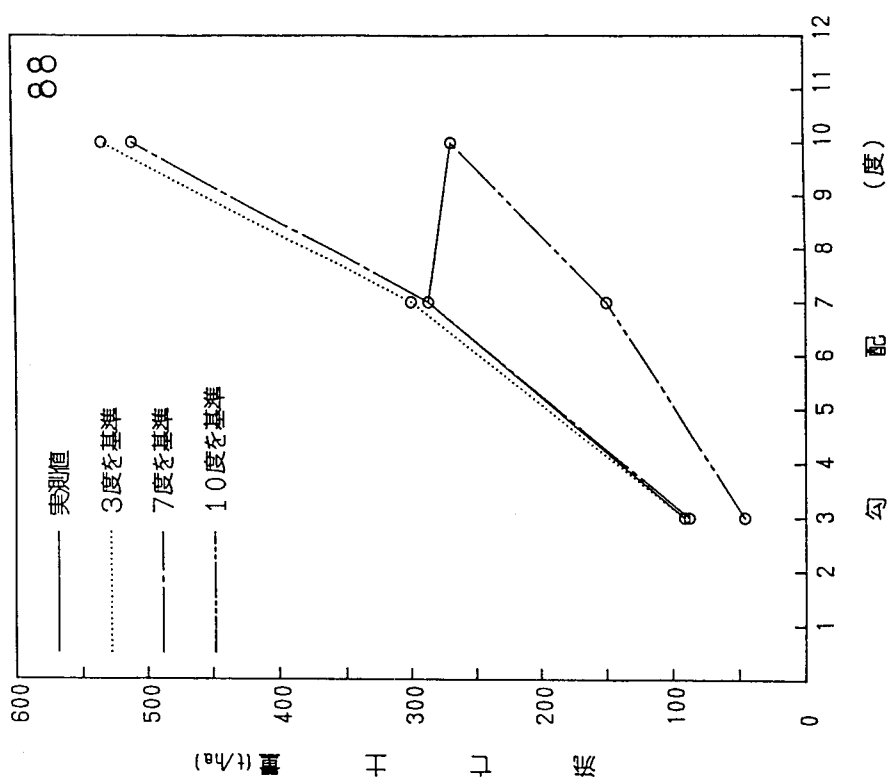
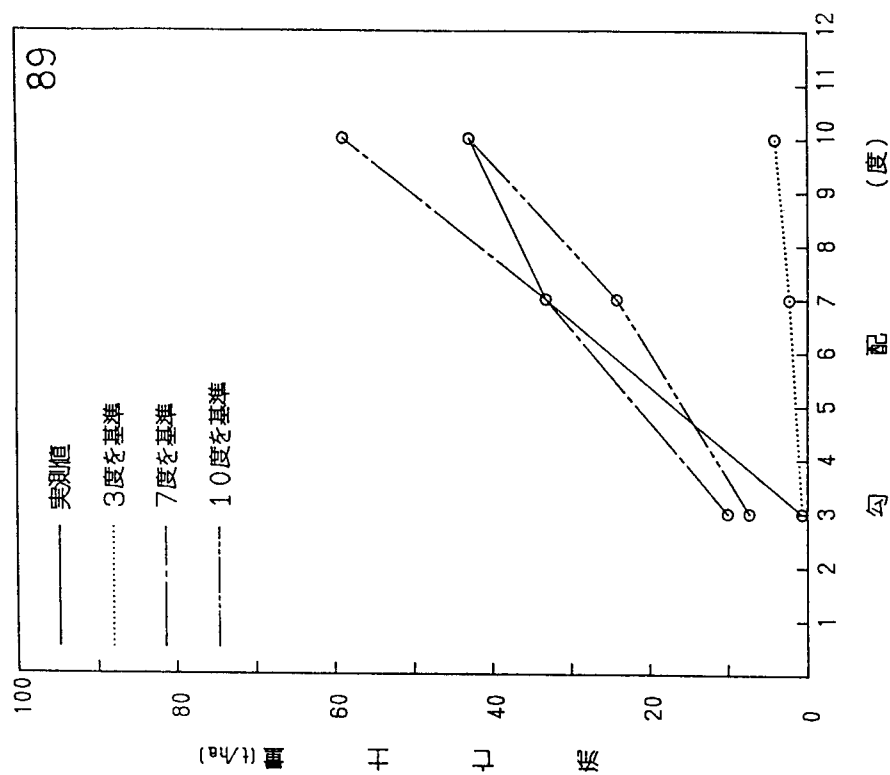


図4 流亡土量の実測値と計算値の比較

89年の各試験区の流亡土量は、3度試験区で0.7(t/ha)、7度試験区で33.0、10度試験区で42.7と7度試験区は3度試験区の約50倍、10度試験区は3度試験区の約60倍の流亡土量が発生したことになる。3度試験区の実測値の流亡土量から7度試験区と10度試験区の流亡土量の推定値と実測値を比較してみても7度試験区の推定値の15倍の流亡土量が発生することになった。

以上の結果より、この試験では北雨地区においてUSLEの傾斜係数を適応させることは難かしく、今後の室内実験や圃場試験の追跡調査が必要であると思われる。

3. 土壌係数について

各試験区において算出した土壌係数を表3に示す。

これより流亡土量が比較的多い1988年は0.280、1989年は0.125、1990年は0.422と土壌係数は高い値を示し、流亡土量が比較的小さい1986年は0.025、1987年は0.058と土壌係数は低い値を示し、その値の範囲は0.000～0.585と各年・各試験区ごとに様々な値を示した。

しかし、USLEの土壌係数は同一地域・同一土壌においては不変であると定義されるので、その平均値の推定をおこなった。

これより、土壌係数の算術平均は0.148で、その信頼区間90%は0.103～0.193であった。

次にこの値と比較するため(8)式を用いて土壌の粒度分布より推算値土壌係数を計算した。供試土壌は、砂34%、シルト44%、粘土22%、有機物含有量1.2%で、土壌構造より土壌コードを推測し計算を行った結果推算値土壌係数は、0.286の値を得た。

仮に実測値からの土壌係数を算術平均値の0.148と考えるとその値は2倍弱の値となが表3の土壌係数の値と比較してもそのちらばりの中に含まれ農地保全上安全側を考えると推定値の0.286の値を土壌係数と考える方が適切であると思われる。

しかし、本来のUSLEにおいては、20～30年の試験結果を用いての結果として示されているため今後の長期にわたる観測を行うことにより正確な北雨地区の土壌係数が算出されると思われる。

表3 各試験区の土壌係数一覧

試験区名	流亡土量	LS係数	降雨係数 R_{30}	土壌係数
(1986年)				
3度試験区	0.00	0.46	55.50	0.000
7度試験区	2.30	1.51	55.50	0.027
10度試験区	2.44	2.69	55.50	0.016
A調査区	0.90	1.65	55.50	0.010
B調査区	0.60	1.65	55.50	0.007
C調査区	10.16	1.65	55.50	0.111
D1調査区	1.54	1.65	55.50	0.017
D2調査区	0.78	1.65	55.50	0.009
平均値				0.025
(1987年)				
3度試験区	0.30	0.46	54.52	0.012
7度試験区	0.46	1.51	54.52	0.006
10度試験区	0.11	2.69	54.52	0.001
A調査区	1.11	1.65	54.52	0.012
B調査区	3.02	1.65	54.52	0.034
C調査区	33.52	1.65	54.52	0.373
D1調査区	1.97	1.65	54.52	0.022
D2調査区	0.00	1.65	54.52	0.000
平均値		/		0.058
(1988年)				
3度試験区	91.14	0.46	725.26	0.273
7度試験区	286.00	1.51	725.26	0.261
10度試験区	267.03	2.69	725.26	0.137
A調査区	454.96	1.65	725.26	0.380
B調査区	314.87	1.65	725.26	0.263
C調査区	179.44	1.65	725.26	0.150
D1調査区	590.90	1.65	725.26	0.494
D2調査区	338.66	1.65	725.26	0.283
平均値				0.280
(1989年)				
3度試験区	0.70	0.46	193.63	0.008
7度試験区	33.00	1.51	193.63	0.113
10度試験区	42.70	2.69	193.63	0.082
A調査区	85.60	1.65	193.63	0.268
B調査区	44.50	1.65	193.63	0.139
C調査区	74.40	1.65	193.63	0.233
D1調査区	49.30	1.65	193.63	0.154
D2調査区	1.80	1.65	193.63	0.006
平均値				0.125
(1990年)				
3度試験区	32.50	0.46	169.55	0.417
7度試験区	149.90	1.51	169.55	0.585
10度試験区	125.00	2.69	169.55	0.263
平均値				0.422
5年分の平均値				0.148

4. 保全係数について

圃場斜面調査区における流亡土量の結果を表4に示す。

表4 圃場斜面侵食調査区における流亡土量の比較

(単位;t/ha)

年	A 圃場	B 圃場	C 圃場	D1圃場	D2圃場
1986	0.90	0.60	10.16	1.54	0.78
1987	1.11	3.02	33.52	1.97	0.00
1988 *	10.11	12.94	32.55	11.60	2.44
1989	85.60	44.50	74.40	49.30	1.80
合計	97.72	61.06	150.63	64.41	5.02

*1988年の大雨による流亡土量は推定値のため除く

これより 各圃場の 4 年分の 流亡土量の比較すると多い順に C 圃場150.63 (t/ha)、A 圃場97.72、D1圃場64.41、B 圃場61.06、D2圃場5.02であった。

C 圃場の圃場面は縦畝であるために縦畝は圃場面での浸透が少なく、畝間を通して、水みちが発生して水みちの拡大がおこり、リル・ガリが発達して大きな侵食をもたらしたと思われる。これに対し最も流亡土量が少なかったD2圃場は、承水路が草生水路なので承水路の植栽により土壌侵食を防御していると思われる。また、D2圃場と同じ承水路断面積の素掘水路を備えたD1圃場の流亡土量はD2圃場の流亡土量より約10倍も多かった。草生水路は、D1圃場、D2圃場の圃場面が同一であることを考えると流亡土量の地区外流出を抑制する効果があると思われる。

次にそれぞれの圃場の保全係数の数値化を行った。B 圃場が対照区であるから、B 圃場の流亡土量を基準に他の圃場の流亡土量を比にしたものを表5に示す。

表5 B圃場を基準にしたときの流亡土量の比較

年	A 圃場	B 圃場	C 圃場	D1圃場	D2圃場
1986	1.50	1.00	16.90	2.60	1.30
1987	0.40	1.00	11.10	0.70	0.00
1988 *	0.80	1.00	2.50	0.90	0.07
1989	1.90	1.00	1.70	1.10	0.04

*1988年の大雨による流亡土量は推定値のため除く

これより A 圃場は0.40～1.90、C 圃場は1.70～16.90、D1圃場は0.90～2.60、D2圃場は0.00～1.30と各年において様々な値を得た。保全施設の効果は、B 圃場の流亡土量よりも少ない場合に効果が示されたと考えられるが、A 圃場、D1 圃場、D2圃場においては年によって対照区である B 圃場よりも流亡土量が多くなった。

このことを考えると今回の試験で設置した保全工は、草生水路に保全効果がみられたが他の圃場の保全効果はこの観測期間の結果のみでは断定できず、この保全工に対する保全係数を決定することはできなかった。これについても長期的な観測が必要と思われる。

5. 冬期間における降雨係数について

北海道のような積雪寒冷地では、春先に多量の流亡土量が発生する。これは凍結土壌の融解に起因する表面土壌構造の破壊による耐食性の低下にあわせて融雪や降雨による侵食が加わるためである。USLEによると積雪期間の降雨係数の換算方法は、積雪期間の降水量(cm)を1.0倍し求めている。

しかし、北海道においては長沢らが積雪期間の降水量の0.13～0.17倍を示している。そこで北雨地区においても融雪期による土壌侵食が発生した1990年の春先の融雪水による流亡土量を測定しこの検討を行った。

1990年の標準試験区における 積雪期間と降雨期間の流亡土量と降雨係数 R_{90} および土壌係数を表6に示す。なお、降雨期間とは調査地域において降水量の

形態が雨であった期間である。

表6 降雨期間の土壌係数と積雪期間の土壌係数の比較

試験区名	流亡土量 (t/ha)	LS係数	R_{30} ($m^2 \cdot t/ha/hr$)	土壌係数 (hr/m^2)
(降雨期間)				
3度試験区	32.50	0.46	169.55	0.417
7度試験区	149.90	1.51	169.55	0.582
10度試験区	125.00	2.69	169.55	0.274
(積雪期間)				
3度試験区	1.30	0.46	32.30	0.087
7度試験区	2.10	1.51	32.30	0.043
10度試験区	2.30	2.69	32.30	0.026

* 積雪期間の R_{30} の値は積雪期間の降水量に1.0倍したものである

積雪期間降水量は32.3mmで、積雪期間の降雨係数はUSLEの換算方法から32.3 ($m^2 \cdot t/ha/hr$)となる。この値から積雪期間の土壌係数を求めると3度試験区で0.087、7度試験区で0.043、10度試験区で0.026となった。

一方、降雨期間の降雨係数から降雨期間の土壌係数を求めると、3度試験区で0.417、7度試験区で0.582、10度試験区で0.274となった。降雨期間の土壌係数と積雪期間の土壌係数は約5～15倍とかなりの差があった。

そこで土壌係数は、USLEにのっとりこの地域では一定出あり、その値に降雨期間の降雨係数を使用すると、3度試験区の積雪期間の降雨係数は春先の流亡土量をLS係数と降雨期間の降雨係数で除し6.78となる。したがって冬期間の降水量が32.3cmなので積雪期間の降雨係数の換算係数は $6.78/32.3=0.21$ 倍となる。各試験区における換算係数を表7に示す。換算係数は7度試験区で0.34、10度試験区で0.37となり、各試験区の換算係数の平均値は0.31を得た。

表7 積雪期間の降雨係数の換算係数について

	3度試験区	7度試験区	10度試験区
降雨期間の流亡土量(t/ha)	32.50	149.90	125.00
融雪水による流亡土量(t/ha)	1.30	2.10	2.30
降雨期間の降雨係数($\text{m}^2 \cdot \text{t}/\text{ha}/\text{hr}$)	169.55	169.55	169.55
積雪期間の降雨係数($\text{m}^2 \cdot \text{t}/\text{ha}/\text{hr}$)	6.78	10.96	12.00
冬期間の降水量(mm)	32.30	32.30	32.30
換算係数	0.21	0.34	0.37

長沢らの解析ではこの計算に R_{60} が用いられているので、ここでも R_{60} で求めると換算係数は0.07～0.21で、平均値は0.13となり、長沢らと同様な結果を得た。

以上の結果、積雪期間における降雨係数 R_{60} の換算係数は0.31、降雨係数 R_{60} の換算係数は0.13になった。これは米国の換算係数に比べると小さな値となったが、これは米国との気象条件等が異なるためと思われる。そして、ここに示す換算係数は北海道で使用できる換算係数ではないかと考えられる。

しかし、観測例が少なく、また北海道においては地域によって冬期の土壌凍結等の違いが考えられるので、一点のみでなく積雪、温度条件の異なる多点での観測が必要と思われる。

V. 北海道における降雨係数分布

これまで、北雨地区での規準枠試験の結果を述べてきたが、U S L Eの適応を考えると、(1)式の土壌係数以下の係数については現場における調査が必要ではあるが降雨係数については、現在観測されているアメダスデータを使用することにより広い地域における降雨係数の分布を計算することが可能である。ただし、U S L E本来の降雨係数はその降雨の計測最小時間単位が10分を使用しておりアメダスデータの1時間とは降雨エネルギーと最大30分間降雨強度を求めるときに差を生じる。そこで、北海道においても1時間降雨とともに10分

間降雨の観測を行っている道内7ヶ所の気象台（函館・室蘭・苫小牧・札幌・旭川・稚内・網走・釧路）と帯広測候所の降雨データをもとに10分間降水量より求めた降雨係数 R_{30} と1時間降水量より求めた降雨係数 R_{60} を算出しアメダスデータによる降雨係数分布図の作成が可能であるかどうかの検討を行った。

まず観測期間12年間の各地点における一連続降雨の EI_{30} と EI_{60} の関係を一次回帰式で示したものを表8に示す。

これよりどの地点においてもその相関係数は0.95以上と非常に高く EI_{60} による EI_{30} の推定は可能であると思われる。また、この地点の変換係数を用いてこの地域のアメダス観測点の降雨データより多点における EI_{30} の推定は可能であると考えられる。

表8 一連続降雨における EI_{30} と EI_{60} の関係

地 点	平 均 EI_{30} 値	一連続降雨 件 数	一 次 回 帰 式	相関係数
函 館	8.89	212	$EI_{30}=1.55 \times EI_{60} + 0.26$	0.986
室 蘭	10.88	230	$EI_{30}=1.33 \times EI_{60} + 1.21$	0.970
札 幌	10.55	144	$EI_{30}=1.40 \times EI_{60} + 0.55$	0.984
旭 川	6.66	176	$EI_{30}=1.25 \times EI_{60} + 1.62$	0.977
稚 内	6.40	168	$EI_{30}=1.99 \times EI_{60} - 1.09$	0.974
釧 路	9.19	225	$EI_{30}=1.38 \times EI_{60} + 0.88$	0.975
網 走	4.94	164	$EI_{30}=1.44 \times EI_{60} + 0.41$	0.952
帯 広	6.38	180	$EI_{30}=1.45 \times EI_{60} + 0.29$	0.968

(単位： $m^2 \cdot \text{ton/ha/hr}$)

次に、各地点ごとの R_{30} と R_{60} の関係を調べた結果、 EI 値同様どの地点においても一次回帰式で示されその相関係数も0.95以上であった。また、どの地点の回帰式も似た傾きであるため全地点の12年間の暖候期降雨係数 R_{30} と R_{60} の関係を図5に示す。

これより8ヶ所12年間の R_{30} と R_{60} の関係は高相関係数を持つ一次回帰式で示されることがわかった。しかし、 R_{60} で R_{30} を推定する場合は原点を通過する方が実際上は都合がよいので原点を通る最小二乗方によってその傾きを求め

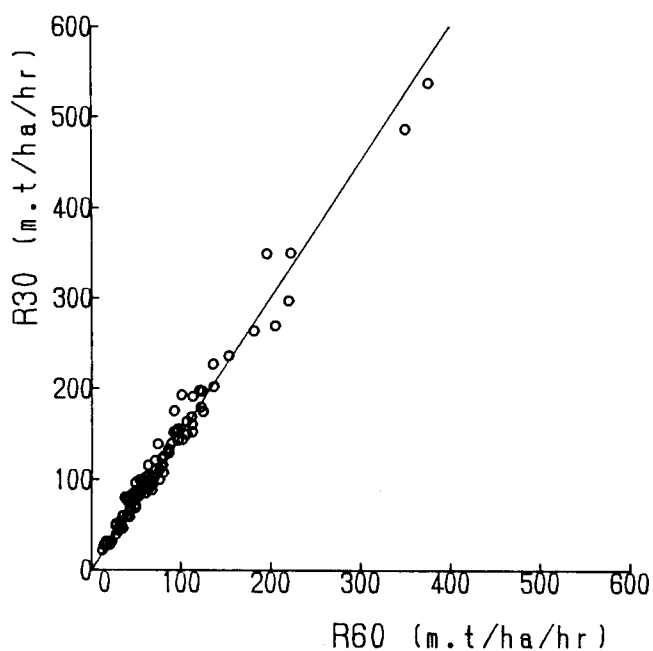


図5 R60とR30の関係

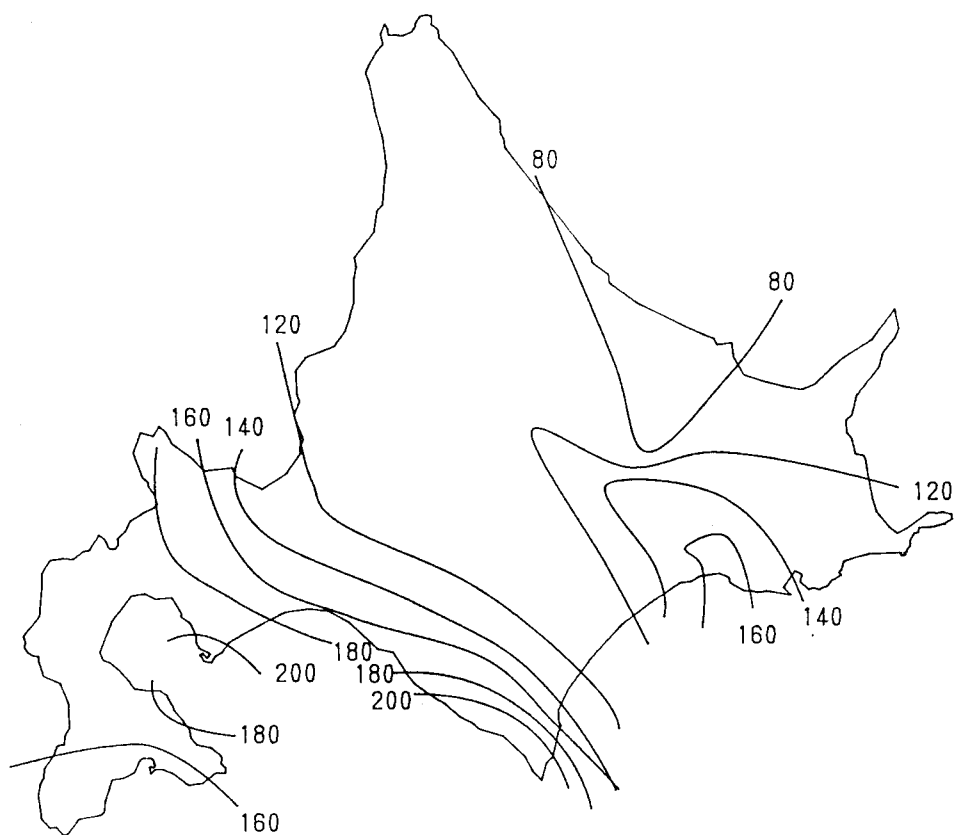


図6 北海道における暖候期降雨係数分布

た結果、北海道全域では R_{90} に1.51倍すれば R_{90} が求まることがわかった。

そこで各地点の暖候期降雨係数を算出した結果、各地点の降雨係数は、函館145、室蘭197、札幌120、旭川95、稚内88、釧路154、網走63、帯広90の値を得た。

これを基に作成した暖候期降雨係数分布を図6に示す。

これより、暖候期の降雨係数分布は道南の噴火湾付近と道東の釧路付近が高くこれを中心として道央・道北に広がるにつれ低くなっていく傾向があることがわかった。しかし今回の観測点は8ヶ所と非常に少ないため北海道227ヶ所のアメダス観測地点の1時間降雨量より求めた降雨係数を使用しての降雨係数分布図を作成すればより細かな土壌侵食予測が可能になるものと思われる。

参考文献

USDA : Predicting Rainfall Erosion Loss, A Guide to Conservation Planning, 1978

村岡宏・三浦直樹：造成農地における降雨による土壌流亡量の予測，農土誌59(3), 1991

北海道開発局：改良山成工調査報告書，1987-1990

細山田建三・藤原輝男：侵食流亡土量の予測に関するUSLEの適応について，農土誌52(4), 1984

長沢徹明：積雪寒冷地域の農地保全，農地保全の研究No. 11, 1990

辻修・松田豊・土谷富士夫：北海道における降雨係数の推定，平成3年度農土学会大会講要集, 1991

中国黄土高原における農地保全問題

北海道大学 農学部 長沢 徹明

1. まえがき

1988～90年の3ヵ年にわたり、文部省科学研究費補助金の交付を受け「中国黄土高原の緑化に関する基礎的研究（代表：田村三郎）」が実施された。本研究は、「中国黄河の上・中流域にひろがる黄土高原の緑化を最終的な目標として、現地において基礎的かつ総合的な調査ならびに研究活動を展開し、それを通じて、この乾燥・半乾燥地帯に農業・牧畜業・林業等を体系化した安定的な農業経営基盤を確立する¹⁾」ことを主要な目的としたものである。このため日本側スタッフのべ17名と中国科学院西北水土保持研究所のスタッフ19名による共同研究体制をしき、さまざまなテーマに取り組んできた。調査研究フィールドは、寧夏回族自治区固原県上黄村（海拔1,500～1,750m）に設置された同研究所試験站、およびその周辺地域である。

筆者は、本研究プロジェクトに参加する機会を得、水文・気象に関する調査研究を通じて黄土高原の農地保全問題を垣間見ることができた。もとより基礎的な知識にも乏しく、広大かつ複雑な巨大大事象を前に圧倒されるばかりであったが、調査を通じて得られた若干の知見を報告する²⁾。

黄河は全長 5,460km、流域面積 752,400km²におよぶ大河である。また、黄河は流量にくらべて流送土砂量がおおく、年間 16億tが流送されるという。この数字もずばぬけているが、さらに驚異的なのは濃度である。黄河の流送土砂濃度 34.30kg/m³は、世界の主要河川のなかで突出しており、たとえば第2位のコロラド川（7.90kg/m³）の4倍以上である。このため、中下流域におおくの難題を投げかけていることは周知のところであるが、この土砂の90%は黄土高原に由来するとされる³⁾。

黄土高原は、面積約 30万km²とも 60万km²ともいわれるような広大な面積を有し、6～7千万の人口を擁する。黄土高原には風積土の黄土が厚く堆積し、数10m から厚いところで 400m にも達する。この黄土が河川に流入するため、

黄河は世界一土砂濃度のたかい流況を呈するのである。このことは、黄土が侵食されやすく、水を含むと崩壊しやすいことに原因がある。黄土高原での年平均侵食量は $3,700\text{t}/\text{km}^2$ と推定され、固原県上黄村を含む地域は $10,000\text{t}/\text{km}^2$ をこえる有数の侵食激基地域である⁴⁾。

黄土高原の土壤保全については、解放後国家の重要課題として取上げられ、多大の努力が払われてきた。このことは、平らな段々畑（梯田）や山肌をうめつくす植林穴（魚鱗坑）、数多くの谷止工（土谷坊）などが雄弁に物語っている。しかし、河川の濁りは治らず、緑化についても理想的な状態への道のりは遠いように思われる。

いうまでもなく、土壤保全への対策を考えるには、その地域の状況（気象、水文、地形、土壌、営農、経済、教育など）を把握し、その状況下における土壌流亡の実態やメカニズムを究明する必要がある。すなわち、要因を多角的に検討し、対策は総合的に構築されなければならない。

土壤保全対策の基本的課題のひとつは、対象地域の侵食流亡土量を的確に把握することであろう。すなわち、ある状況下での侵食流亡土量と、一定の対策を講じたときの侵食流亡土量を予測できれば、安定的な営農活動を持続するための手段を具体化できることになるからだ。このような観点から、侵食流亡土量を予測するための手法が開発されてきているが、そのなかで USLE はもっとも広く利用されている予測手法のひとつである。ここでは、USLE の考え方を軸にして、黄土高原における降雨の性質（侵食性）と土壌の性質（受食性）を検討し、基礎的な資料を提示するものとする。

一方、流亡する侵食土砂は、必ずしもその多くが斜面で生産されるとは限らない。たとえば、黄土高原内にあって、平頂部 57%、斜面 16%、ガリ 27% の面積比率の流域における年平均土壌侵食量 ($5,200\text{t}/\text{km}^2$) の内訳が、それぞれ 4.5%、2.1%、93.4% とした事例⁵⁾もある。このように、流亡土砂の発生源の大部分がガリとなれば、保全対策もそれに対応させて考える必要があるだろう。

以上のような複雑な様相を呈する水食現象に対し、それぞれの場面での抑制対策が、また流域全体を視野に入れた保全対策が考えられている。「緑化」はまさに壮大な水土保持事業であるが、その効果を経時的に確認していくことは、

対策事業の進め方を調整するうえにおいてきわめて重要なことであろう。そうした指標のひとつとして、河川の土砂流送状況を把握し追跡していくことが有効であると考え、このような観点から、現地河川の浮流土砂流送特性についても検討を加えた。

2. 降雨の性質と侵食

侵食現象に関与する因子はおおく、また個々の因子は相互に関連しあって複雑な影響をおよぼす。侵食抑制対策を真に有効なものとするには、現象を分析し、影響因子を整理することが必要である。

一方、正常侵食とか自然侵食なる用語があるように、侵食現象は地形形成上の1プロセスでもあり、これを完全に止めることはできない。したがって対策の基本は、侵食量を許容される限度内に抑制することである。また、対象とする地域に適する対策指針を樹立するためには、その地域で発生する土壌侵食流亡量を定量的に把握することが求められる。これができなければ、侵食を許容量以下に抑制するための具体的手段を考えることは難しい。そのため、斜面を枠で囲って一定面積の試験区とし、そこで発生する侵食流亡土量を観測する傾斜枠試験がおこなわれる。この手法を通していくつかの土壌流亡量予測式が提案されてきた。それらのなかに、1950年代になって、WishmeierとSmithにより提案されたUSLE (Universal Soil Loss Equation、汎用土壌流亡量予測式)がある。USLEは現在に至るまでおおくのデータによって改良強化され、アメリカのみならず日本などおおくの国で利用されるようになっている。

USLEは、降雨流出・土壌・斜面長・斜面勾配・営農方法・保全対策の6つの条件を影響因子として設定し、これを数値定量化した次式で表現される⁶⁾。

$$A = R K L S C P$$

ここで、A：単位面積当りの年平均侵食流亡土量 (t/ha・yr)

R：降雨流出係数 ($\text{m}^2 \cdot \text{tf} / \text{ha} \cdot \text{hr} \cdot \text{yr}$)

K：土壌係数 ($\text{t} \cdot \text{hr} / \text{m}^2 \cdot \text{tf}$)

L：斜面長係数 (dimensionless、以下同じ)

S：勾配係数 C：作物営農係数 P：保全係数

USLEは、各係数の積として侵食流亡土量を求める式であるが、あくまで年平均侵食流亡土量を予測するものであって、1回の降雨とか短期間の流亡土量を予測する式ではない。またUSLEの本質は、侵食量を0にすることを目的とするのではなく、その量を許容量以下に抑制することにある。つまり、この式によって得られた予測量が許容量をこえるものであれば、農地の傾斜、斜面長、作物の種類、営農方法、保全対策等を考慮し、許容量以下になるよう工夫すればよいのである。問題はこの許容侵食量の設定である。土壌の作物生産能力を減衰させることのない土壌損失量の上限とされるが、黄土高原の場合においても、その潜在的生産性や農業経済の現状などとの関連のなかで設定値を決めなくてはならない。

さて、USLEにおける降雨流出係数Rは、侵食を発生させるとみなされる一連続降雨（侵食性降雨）が有する侵食ポテンシャルである。この場合、侵食性降雨はUSLEの定義に基づく降雨であり、総降雨量が12.7mm以上、降雨が途切れてもそれが6時間以内のまとまった降雨をさしている。ただし、総降雨量が12.7mm以下であっても15分間降雨量が6.4mm以上ならば侵食性降雨として処理される。この侵食性降雨のエネルギーEと、30分ピーク降雨強度 I_{30} の積（EI値）の年間合計値がRである。侵食性降雨のエネルギーEは次式で計算される。

$$E = 210 + 89 \log I$$

ここで、E：降雨1cm当りのエネルギー（ $m \cdot tf/ha \cdot cm$ ）

I：降雨強度（ cm/hr ）、ただし上限は7.62 cm/hr

いま、上黄村における降雨の侵食性を検討するため、気象観測ステーションで得たデータにより降雨流出係数Rを求めることにする。解析の対象とした降雨データは、1988年4月20日より1990年9月23日までの期間に収録した30分間降雨量によるものである。3年間を完全にカバーしているわけではないが、一応3シーズンの雨季を対象にしたこととして検討を進める。これらの降雨のなかから上述の侵食性降雨を取りあげると、1988年に8降雨、1989年に8降雨、1990年には9降雨が対象となった。

表1に整理した結果によれば、各年のEI値の合計、すなわち降雨流出係

表 1 上黄村における侵食性降雨と降雨流出係数 R

年	発生時期	降雨量(mm)	El($m^2 \cdot tf/ha/hr$)
1988	5/17	15.0	2.25
	6/30-7/1	15.0	0.91
	7/21	17.0	12.96
	8/5	29.5	23.63
	8/7-8/8	15.5	1.76
	8/13-8/14	25.0	2.23
	8/17	13.5	1.04
	8/31-9/1	41.5	21.12
			R = 65.90
1989	5/9	15.5	2.06
	6/12-6/13	31.0	7.99
	7/15-7/16	16.5	6.39
	7/18-7/19	15.5	1.19
	8/3-8/4	35.5	8.61
	8/15-8/16	20.0	1.18
	8/18	16.5	0.96
	8/29-8/30	23.5	1.85
			R = 30.23
1990	4/20	13.0	0.76
	4/29-4/30	19.0	0.80
	5/14-5/16	44.5	2.44
	7/3	16.0	1.90
	7/12	13.5	3.94
	8/12-8/13	26.5	2.63
	8/15	50.0	9.64
	8/25	30.5	4.95
	8/27	15.0	2.37
			R = 29.43

表 2 上黄村における土壌係数 K の推定

年	侵食流亡土量 A (t/ha)	降雨流出係数 R ($m^2 \cdot tf/ha/hr$)	斜面長係数 L	勾配係数 S	土壌係数 K ($t \cdot hr/m^2/tf$)
1988	76.12	65.90	0.95	2.83	0.43
1989	15.11	30.23	0.95	2.83	0.19

注) 侵食流亡土量のデータは西北水土保持研究所による

数は1988年が $65.90 \text{ (m}^2 \cdot \text{tf/ha} \cdot \text{hr)}$ 、1989年が $30.23 \text{ (m}^2 \cdot \text{tf/ha} \cdot \text{hr)}$ 、1990年が $29.43 \text{ (m}^2 \cdot \text{tf/ha} \cdot \text{hr)}$ であり、3ヵ年の平均は $41.85 \text{ (m}^2 \cdot \text{tf/ha} \cdot \text{hr)}$ となる。以上のように、固原県上黄村における降雨の侵食ポテンシャルが求められたが、保全対策などの計画に利用するには更に長期間のデータが必要である。つぎに、これらの数値について考えてみることにしよう。

日本の年降水量は平均で $1,800\text{mm}$ 前後であるが、北海道はそのなかで最も降水量の小さい地域であり、 $1,000\text{mm}$ 程度である。また北海道の5～9月の降水(=降雨)量は $400 \sim 800\text{mm}$ とされるのに対し、固原県の降水量は年間で 480mm 、5～9月で 390mm と報告されている⁷⁾ことから、おおむね北海道の $1/2$ 程度である。しかるに、北海道での調査事例によれば、降雨による $E I$ 値の合計として1988、1989、1990年でそれぞれ 128.44 、 122.43 、 $313.69 \text{ (m}^2 \cdot \text{tf/ha} \cdot \text{hr)}$ といった数値を得ており^{8・9)}、固原県の $E I$ 値はこれらの $1/3$ 以下の値である。黄土高原では、7、8月の雨季に強い雨が集中し、はげしい侵食をひきおこすとされる。上記の固原県のデータのうち最大の $E I$ 値は、1988年8月5日の $23.63 \text{ (m}^2 \cdot \text{tf/ha} \cdot \text{hr)}$ であるが、この程度の侵食性を有する降雨は、北海道においても普通に発生するといつてよいだろう。

以上のように、固原県における降雨の侵食ポテンシャルはそれほど大きな値とはいえない。したがって、現実に見られる黄土高原のはげしい侵食現象は、他の条件に起因するものとみられる。たとえば、斜面に展開する農地の形状とか作物の種類や営農方法を含めた土地利用、あるいは地表の植生被覆などの状況が、土壌侵食にとって好ましくないことが挙げられるであろう。加えて、黄土自体の侵食に対する抵抗性の問題がある。

3. 土壌、地盤の性質と侵食

USLEで設定される土壌係数 K は、土壌の侵食性を定量的に評価する指標といつてよい。この土壌係数 K は、傾斜枠からの侵食流亡土量を観測することによって求めることができる。一般には、USLEで規定する基準状態の傾斜枠試験による。ここでいう基準状態とは、斜面長 22.1m 、幅 1.8m 、勾配 9% (5.1°) の裸地で、地表面は清耕状態にあるものを指している。この状態では、USLEの係数 L 、 S 、 C 、 P はすべて1となり、 K 値は次式によって求

められる。

$$K = A / R$$

いま、上黄村試験場にある傾斜枠で得られた侵食流亡土量と、前節で提示した降雨流出係数より K を求めることにする。この傾斜枠は U S L E の基準状態と異なり、斜面長 20m (幅 5m)、勾配 10° の裸地状態である。したがって、 $L, S \neq 1$ となり、 K は次式によって求めることになる。

$$K = A / R L S$$

$$\text{ここで、} L = (1/22.1)^{0.5} = (20/22.1)^{0.5} = 0.95$$

$$S = 65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065$$

$$= 65.41 \sin^2 10^\circ + 4.56 \sin 10^\circ + 0.065 = 2.83$$

1988年と1989年における傾斜枠からの侵食流亡土量 A 、ならびにそれらに対応する降雨流出係数 R 、計算の結果求められる土壌係数 K を表 2 に示す。なお、1990年については、この傾斜枠は他目的の研究に対応したため、試験条件ならびに侵食流亡土量が増加したのでここには掲載していない。また1年目と2年目で K 値に 2倍以上のひらきがあるのは、試験区の表面状態が変り耐食性が増大したようにも解釈できる。しかし、詳しい事情が不明なので断定は避けることにする。ちなみに、U S L E による試験の基準は、傾斜方向に耕起し、コーンのシードベッドのような状態を維持することとされ、表面に植生やクラストが発生することを防がなければならない。したがって、上黄村の土壌係数としては、むしろ1988年の $K = 0.43 \text{ (t} \cdot \text{hr/m}^2 \cdot \text{tf)}$ を採用する方が妥当ともいえよう。

傾斜枠による長期観測によらずに土壌係数を求める簡便な方法が提案されている。この方法は、対象とする土壌の粒度、有機質含有量、構造的および透水性を指標とし、ノモグラフによって K 値を求めるものである¹⁰⁾。表 3 は、黄土、その他の土壌の抗侵食性を分析した結果¹¹⁾を引用し、ノモグラフ法によって K 値を求めた結果である。これによると、黄土の K 値は $0.53 \sim 0.85 \text{ (t} \cdot \text{hr/m}^2 \cdot \text{tf)}$ と非常に大きく、表 2 を超える値となった。

表 2、表 3 のいずれの結果にしろ、黄土の土壌係数 K はかなり大きなものである。たとえば、北海道の粘性土で 0.011 ¹²⁾、九州南部のクロボク土で

表 3 黄土、その他の土壌係数K

土 壌	シルト + 極細砂 (%)	0.1mm以上 の砂 (%)	有機質 (%)	構 造 性 (等級)	透 水 性 (等級)	土 壌 係 数 K (t・hr/m ² ・tf)
砂黄土	92.5	0.5	0.2	3	2	0.85
新黄土	80.5	0.5	0.4	2	3	0.62
老黄土	79.0	0.2	0.3	2	5	0.67
湘黄土	80.0	0.3	0.7	2	4	0.61
暗黄土	76.0	0.2	0.9	3	2	0.54
黒ロ土	74.0	0.1	1.4	3	3	0.53
紅 土	51.0	3.0	6.3	1	6	0.21
山地灰 褐土	70.0	2.0	4.0	3	1	0.30

表 4 黄土の物理的性質

比重	2.77
液性限界	29.2 (%)
塑性限界	22.3 (%)
塑性指数	6.9 (%)
砂分	3 (%)
シルト分	87 (%)
粘土分	10 (%)
日本統一土質分類	CL (粘質土)

(寧夏回族自治区固原県
上黄村にて採取)

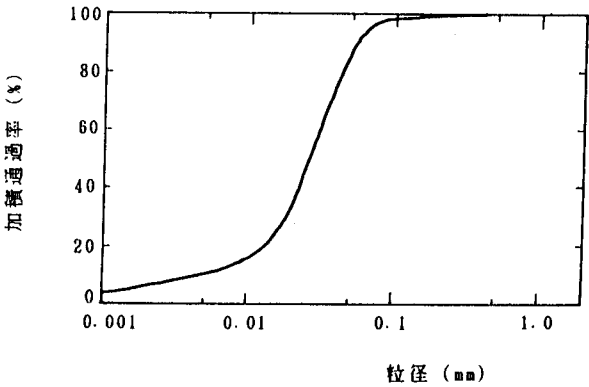


図 1 黄土の粒度分布

0.089¹³⁾などの報告があるが、これらに比べると黄土の受食性は非常に大きなものであることが理解されるだろう。それでは、黄土の高い受食性はどのような性質に由来するのであろうか。以下に、土壌物理的な見地から検討を加えることにする。

上黄村試験站の北向緩斜面 50cm 深さより採取した黄土について、いくつかの土壌物理性を検討した。分析結果を表 4 に示す。このように、液性限界が低くかつ塑性指数が小さい性質を有するとともに、土質分類上はCL（粘性土）で示されるような細粒度でありながら、粒径が均一（図 1）で粘土分（5 μ m 以下）がきわめて少ない。また、表 3 などから腐植含有量も小さいと推定され、団粒構造は発達していない。このような土壌構造的性は、保水機能にも強い影響をおよぼす。図 2 は、黄土の不攪乱供試体による pF～水分特性曲線である。図より明らかなように、低 pF 領域での水分保持量は高いが、pF1～2 のサクシヨン変化領域で急激に脱水する。このような特性は、シルト系土壌の保水パターンである。また、黄土は土壌中に多量の炭酸塩を含み、この炭酸塩が土粒子を膠結している。この炭酸塩は浸水によって溶けやすく、粒子間結合や団粒構造は容易に分散してしまう⁴⁾。

黄土には以上のような物理・化学的性質があるために安定性が低く、水を含むと容易に流動化するものと思われる。

つぎに、斜面の地盤性状を調査した結果をみることにする。調査地点は上黄村試験站の南北斜面 2ヵ所である。サンプリングは 1989年9月2日に行ない、各土層について 20cm 間隔で 100cm の深さまで 100cm³の不攪乱供試体を採取した。

図 3 は、調査時点における自然含水比の土層分布である。北斜面の土壌水分が高い傾向を示すのは、斜面の向きによる気象、水文環境の差に起因すると考えられる。また図 4 は乾燥密度、図 5 は間隙量を示すものであるが、ここでも斜面による違いが明確にあらわれている。すなわち、北斜面は南斜面にくらべて密度が小さく間隙量が大きい。これは透水性にも反映し、図 6 のような結果となった。

南北斜面の地盤性状に差異をもたらす原因として、冬季間における地盤凍結現象を考えることができる。土壌が凍結することは、土壌水が凍結することに

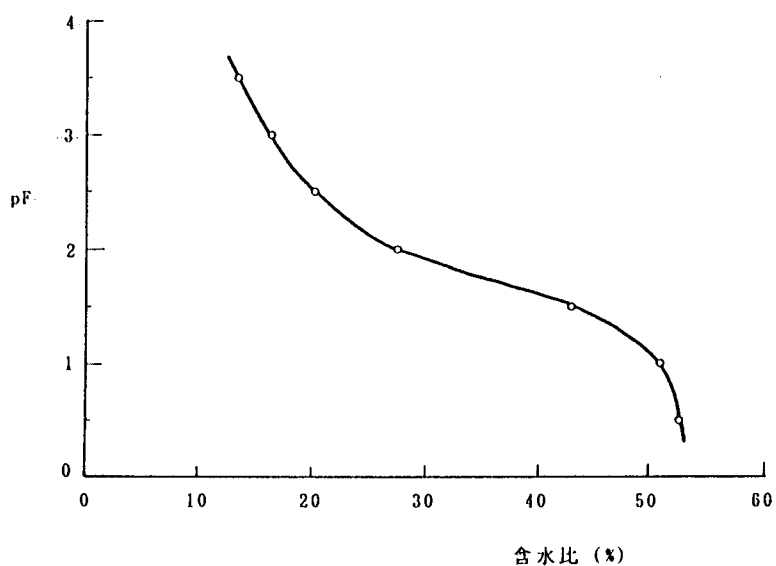


図 2 黄土の pF～水分特性

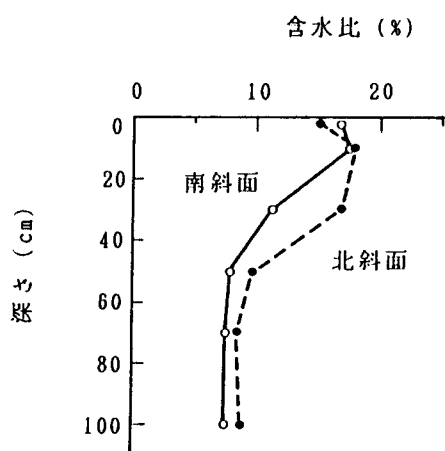


図 3 上黄村における斜面地盤の
自然含水比 (1989.9.2)

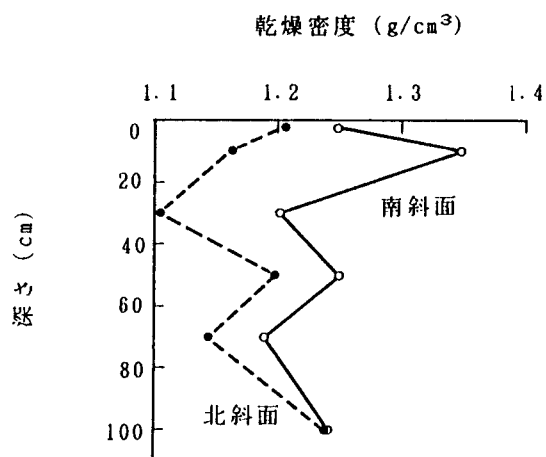


図 4 上黄村における斜面地盤の
乾燥密度 (1989.9.2)

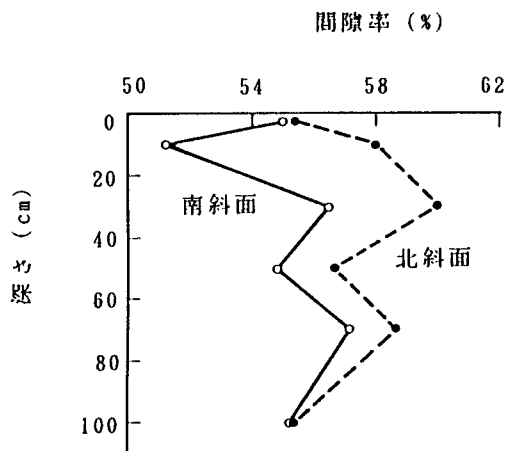


図 5 上黄村における斜面地盤の
間隙率 (1989.9.2)

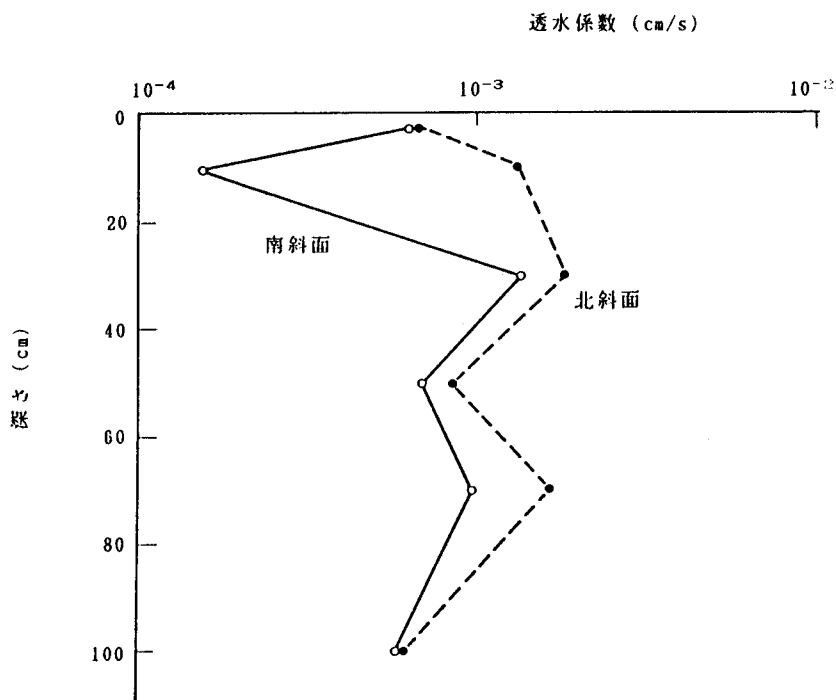


図 6 上黄村における斜面地盤の透水係数
(1989.9.2)

他ならない。地温の低下にともない土壤中に氷晶が発生し成長していくが、この過程で土中水の系内移動が行なわれたり、下方の土中水が凍結層に吸引されて地表面が上昇する凍上現象が生じたりする。したがって、凍結後の状態は凍結前とは構造的に異なり、融解後も完全には復元しない。そしてこの影響の程度は、地盤の水文環境や凍結状況によって変化することになる¹⁴⁾。

気象観測ステーションにおける気温データから得られた 1989～90年冬期の凍結指数は $480.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ であり、同ステーション内の平坦地の最大凍結深は 96.0cm であった。寒さの程度を示す凍結指数は札幌と同程度ながら、地盤凍結深は帯広などの北海道でも最深クラスに匹敵する。しかし帯広は日本でも有数の寒冷地であり、凍結指数は約 $1,000^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ で、上黄村の2倍以上の値となる。つまり、上黄村は寒さの程度に比して凍結深が大きいという特徴を有する。

一方、過小評価になるが、地表面下 5cm における地温から冬期間における斜面の凍結指数を推定すると、北斜面で $388.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 、南斜面で $202.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ となった。そして、それぞれの斜面での地盤凍結状況は図7 のようになり、最大凍結深は凍結指数の比率と同様ほぼ $1:2$ となっている。

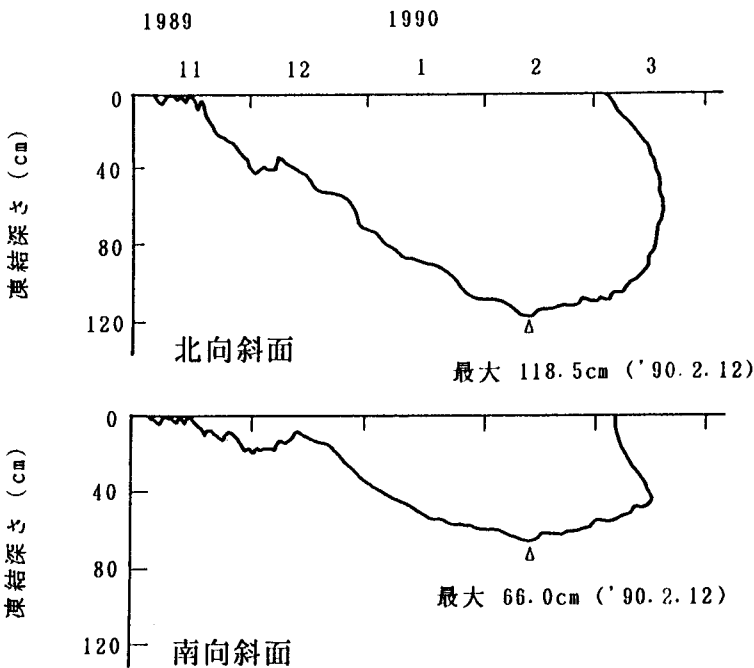


図 7 上黄村における斜面地盤の凍結状況
(1989～1990冬期)

以上のように、地盤に対する凍結融解作用の影響は北斜面のほうが大きいことが推定される。地中の凍土層は冷熱体であるとともに難透水性であることから、水文環境や植生に対しても影響を及ぼし、広い意味で斜面の土壤保全問題に関与するといえよう。北海道東部の傾斜畑においては、凍結した畑面への融凍水や降雨流出にともなって激しい侵食が生じることがあり¹⁵⁾、融凍期の土壤保全問題はきわめて重要な検討課題として認識されている。

4. 河川の浮流土砂流送挙動

黄河の土砂流送状況のすさまじさは、つとに有名である。年間の流送土砂量は 16 億 t、平均土砂濃度は 34.30kg/m^3 とされ、とくに土砂濃度の高い支流では、洪水ピーク時には $300\sim 500\text{kg/m}^3$ にも達する。時には、 $1,000\text{kg/m}^3$ 以上の高濃度の流れが現れることもあるとされる⁴⁾が、これはもう山津波なみである。しかも、そのほとんどが豊水期に集中していることから、この時期ダムに貯水することができず、土砂の少ない渇水期に貯水して調節運用している。このことは、水資源の開発利用を困難にし、ただでさえ少ない水資源の活用を妨げている。

流送土砂の発生源としては、①表面流出水による表土の侵食 ②排水路系統における流路床・岸の洗掘や崩壊 ③法崩れや地滑り、山崩れ ④土地利用の改変にともなう地表攪乱、などがあげられる。河川による土砂流送は、大別して掃流によるものと浮流形態によるものとがあり、後者の流送割合が大きいとされる。黄河水系のように、浮流土砂が黄土に由来することと前述した黄土の性質からみて、この傾向は一層強いと考えられる。

浮流形態での土砂流送は、河川の流況に大きく影響され、とくに浮流土砂濃度や流送量は河川流量と密接な関係がある。そして、これらの関係は河川によって異なり、また同一河川であっても水文条件や時期によって大きく変動する。つまり、降雨などにともなう流出現象が、河川への土砂流入に対して支配的に作用するため、気象要因に加えて、流域に関するさまざまな状態量が関与するのである。したがって、流域全体の水土保全的な事象がここに現れてくる結果となり、いわば総括的な評価を行なうことができる。

荒廃した流域を貫流する河川は、一般的に褐濁している。流送土砂の状況は、

流量とともに流域の保全管理状態を示すパラメータなのである。そして、流域の緑化をはじめとする保全対策事業を推進するにあたって、その効果をはかり、対策の方向を修正したり強化したりするうえでのモニター値として、きわめて有効な指標になるものと考ええる。こうした観点から、黄土高原流域河川の現況下における土砂流送特性を把握しておくことは、将来にとって有意義なことであらう。

ここでは、上黄村を流下する黄家河（官府台河）を対象として観測した流況にもとづき検討を加える。上黄村を下流端とした黄家河流域は図8のような形状を示し、最上流域は甘肅省に属する。地元のはなしでは、本河川はとくに地被の少ない地域を貫流するため、その土砂濃度は寧夏第一で、黄河本流より高いとされている。

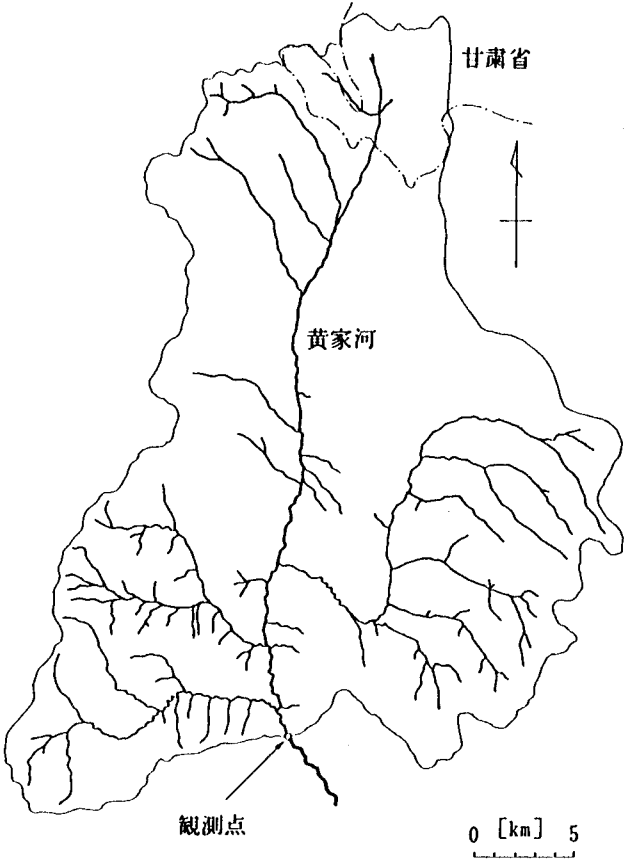


図 8 上黄村における流況調査河川
（黄家河）流域概況

流域の水文地理的な特性としては、面積が 684km^2 のほか、本流延長が 40km 、河川密度が $0.439\text{km}/\text{km}^2$ 、平均河川勾配 4% となっている。面積的には日本の中規模流域（大分川； 650km^2 、黒部川； 680km^2 など¹⁶⁾）に相当し、九州における平均流域面積（ 724km^2 、ただし面積 150km^2 、長さ 20km 以上の35河川による¹⁷⁾）に近い。

図9 は、1990年5～9月の期間、上黄村において観測された流量と浮流土砂濃度の関係を示したものである。流量は、プライス型流速計と標尺により観測し、また浮流土砂濃度は採水後炉乾燥することによって求めた。したがって、得られた値は全蒸発残留物濃度であることから、溶解塩成分による誤差を含んでいる。しかし、土砂含有量がおおきい場合には、全蒸発残留物濃度は浮流土砂濃度に近似するものとみなし得る¹⁸⁾。

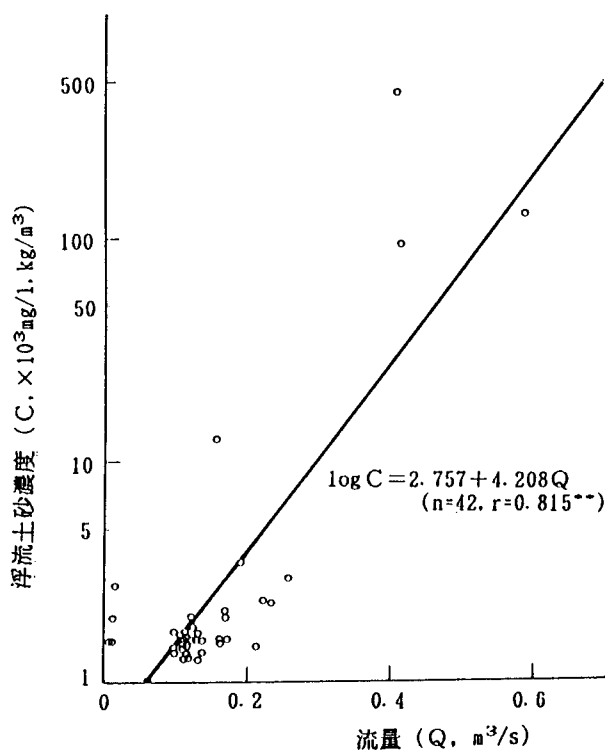


図9 黄家河における流量と浮流土砂濃度の関係（1990.5～9）

この間の河川流量はおおむね $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 以下であり、流域の規模からすれば非常に小さい。また渇水期の流量は $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 前後であり、渇水期比流量は $0.01\sim 0.02\text{m}^3/\text{s}\cdot 100\text{km}^2$ 程度と推定される。日本の場合にはおよそ $1\sim 2\text{m}^3/\text{s}\cdot 100\text{km}^2$ とされている¹⁹⁾から、じつに $1/100$ に過ぎないことになる。この数値は灌漑計画にとって重要な意味をもつもので、この地域の利水面での難しさが想定される。その反面、谷の断面形状や現地でのききとりによれば、雨季には相当規模の増水があると予想される。つまり、河状係数の極端におおきな暴れ川であると思われる。

流量 Q と浮流土砂濃度 C の間には図 9 に示すような関係があるが、浮流土砂濃度に関してはほとんどが $5\text{kg}/\text{m}^3$ 以下の数値となり、 $10\text{kg}/\text{m}^3$ を超えるデータは少なかった。しかし最大で $443\text{kg}/\text{m}^3$ が観測されているように、全体的には非常に大きな値である。北海道での観測事例に比べると、同程度の流出規模に対して 10^3 倍以上という桁違いの土砂濃度で、年に 1 回あるかないかの豪雨流出時の流況に匹敵するものである。

以上の浮流土砂の観測は、1～数日ごとに採水する方法をとったが、浮流土砂の流送挙動はそのときの水文状況に強く影響され、たとえば降雨、流量の変化に敏感に反応する。したがって、原因の詳細な分析とか、1 回の降雨流出や長期にわたる流送土砂量の把握などを正確に行なうには、時間的に連続した観測体制を確立することが望ましい。その具体的方法を含めて、今後の課題といえよう。

5. あとがき

土壌侵食に関わる要因を分析していくと、その土地に降る雨の性質が最も重要である。また他の要因には侵食抑制を指向する余地があるのに対して、降雨は人為の及ばない土地に固有の侵食ポテンシャルである。したがって、はげしい降雨にみまわれる地域は、潜在的に侵食ポテンシャルが高いため、地表条件のわずかな変化によって取返しのつかない表土流亡を引起こすことになる。熱帯雨林の皆伐にともなう土地の荒廃は、このことを明示している。

さて、黄土高原の水文環境を検討した結果、侵食に対して降雨の影響が卓越しているとは言い難い。年間降水量が小さく、降雨の持つ侵食ポテンシャルも

相対的に小さいからである。確かに、年降雨量に対して夏の短期間に降雨は集中するが、たとえば北海道の降雨にくらべてとくに激しい雨が降るとはいえない。検討期間が3年と短かく、いささかデータ不足の感があるが、降雨の侵食ポテンシャルが特に大きいとは言えないだろう。

しかし現実には、侵食は重大な問題として黄土高原に顕在し、土地生産性を抑えかつ減少させつつある。このような事態を招いているのは、降雨以外の条件—土壌（黄土）の性質、土地利用形態、傾斜地表面の状態（地被）などが大きく影響しているからである。つまり、黄土は土質的に水に対する抵抗性が小さく、受食性がきわめて大きい。また、土地利用形態の特徴としては、斜面から頂部にいたるまで徹底的に利用されている。かなりの急斜面でも耕作が行なわれているとともに、ガリの間際まで畑が存在する。従来からの傾斜畑のおおくは、斜面長も勾配も大きい。作物の種類や栽培方法に関しても、かならずしも保全的な配慮がなされているとはいい難い。加えて、耕作に不向きな急傾斜地には、羊等の家畜が過放牧されているため、斜面を水食から守ううえで最も有効な草種による被覆を激減させている。

黄河の治水は、中国の悲願である。解放後間もない1955年に開催された第1回全国水土保持会議において、黄河治水の根本策として「治水は治泥」をうたい、堤防を築きダムを建設するよりも表土流失を防ぎ黄土高原の体質を改善することが提唱された²⁰⁾。このなかで、黄土高原に草地と森林を造成することを1つの柱に据え、おおくの実践がなされた。

河川が濁る、すなわち多量の土砂が水系に流入する現象は、流域全体の保全問題が総合的に反映する結果でもある。したがって、傾斜畑や放牧地における侵食流亡に加えて、つぎのような事象を土砂発生源として考える必要がある。前述のように、河川へ流入する土砂の発生源としては、ガリが大きな割合を占める。すなわち、たとえば固原県15ヵ所で観測した結果によれば、ガリ谷頭の進行速度は平均5.9m/yr、上黄村では6.8m/yrとされる¹¹⁾。黄土高原におけるガリの密度や面積割合を考えると、ガリからの土砂供給量がいかに大きいものであるか想像に難くない。また側岸侵食にも関連するが、黄土は顕著な鉛直節理を有し、黄土壁面は崩れずにまっすぐ立っているが、外部からの作用によって破壊されやすいとされている⁴⁾。そして、地表水が節理に沿って浸透す

ることが、側岸崩壊と陥没穴発生の主原因となっている。さらには、斜面の大規模な崩壊現象もみられる。黄土は堆積した時代により性質が異なるため、堆積層ごとに浸透性などの土質条件が異なっている。このため、層間の接触面で水分状態や伸縮率に差が生じ、斜面においてクリープ現象による地滑り破壊が発生するのである²¹⁾。

本研究プロジェクトは、「退耕還林」を基本的目標とし、これを実現させるため、現地に適応した具体的な技術の開発に取り組んだものである。黄土高原の緑化が、侵食に対しておおきな抑制効果を発揮することは論をまたない。これは、地被植生によって降雨を遮断し、表面流出を抑制することによる効果である。しかし、緑化が成るまでの期間に対応し、かつまた流出水の集中によりガリが拡大することを防止することなどを考えると、流出水自体を合理的に排除することも必要である。このような流域排水システムの構築を土地利用計画に組込むことは、黄土高原の水土保持にとって有効な対応策の一つであると考え

本調査研究は、文部省科学研究費補助金・総合研究(A)「中国黄土高原の緑化に関する基礎的研究」の一部である。研究を進めるに当り、代表者の田村三郎東京大学名誉教授をはじめ、高橋萬右衛門北海道大学名誉教授他の諸先生にご指導を賜わり、また西北水土保持研究所のスタッフの方々には資料供与・調査協力など多大のお世話をいただいた。また、高橋英紀北海道大学大学院環境科学研究科助教授には、研究分担者として様々なご教示をいただいた。記して謝意を表するものである。

〔引用文献〕

- 1) 田村三郎：中国黄土高原の緑化に関する基礎的研究，平成2年度科学研究費補助金（総合A，代表；田村三郎）報告書，p.6（1991）
- 2) 長沢徹明・高橋英紀：固原県上黄村における水文環境と土壤保全問題，平成2年度科学研究費補助金（総合A，代表；田村三郎）報告書，pp.37-47（1991）

- 3) 日本農業土木総合研究所：中国の土地改良 7, p.111 (1989)
- 4) 黄河水利委員会治黄研究組編（芦田和男監修）：黄河の治水と開発，古今書院，pp.29-44 (1989)
- 5) 4), p.121
- 6) USDA：Predicting Rainfall Erosion Losses, A Guide to Conservation Planning, pp.3-4 (1978)
- 7) 高橋英紀・長沢徹明：固原県上黄村における水文と気象，平成2年度科学研究費補助金（総合A，代表；田村三郎）報告書，pp.15-36 (1991)
- 8) 長沢徹明：積雪寒冷地域の農地保全，農地保全の研究11, pp.33-51 (1990)
- 9) 長沢徹明：北海道における農地造成と保全，平成2年度農地保全等解析検討業務報告，p.21 (1991)
- 10) 6), p.11
- 11) 中国科学院・寧夏回族自治区固原県総合考察隊：黄土高原典型地区寧夏固原県総合農業区画と応用，寧夏人民出版社，pp.147-152 (1988)
- 12) 長沢徹明・他：傾斜枠試験による水食の研究（V），平成3年度農業土木学会大会講演要旨集，pp.560-561 (1991)
- 13) 種田行男：わが国における流亡土量の予測，農地保全の研究 1, pp.11-20 (1980)
- 14) 長沢徹明・梅田安治：凍結・融解土の特性に関する研究（Ⅷ），農土論集 123, pp.57-64 (1986)
- 15) 長沢徹明・他：積雪寒冷地域の傾斜農地における融凍期の侵食問題，北大農学部紀要 15(3), pp.282-292 (1987)
- 16) 高橋 裕 編：河川水文学，共立出版，pp.212-213 (1980)
- 17) 山本莊毅・高橋 裕：図説水文学，共立出版，p.36 (1987)
- 18) 長沢徹明・他：濁度計による河川浮流土砂量の推定，農土論集125, pp.81-87 (1986)
- 19) 石橋 豊・他：農業水文，コロナ社，p.162 (1976)
- 20) 田川純三：大黄河をゆく，中央公論社，p.182 (1989)
- 21) 任美鏐編（阿部治平・駒井正一訳）：中国の自然地理，東大出版会，pp.84 (1986)