農地保全の研究 第 14 号

農地保全研究部会
第１４回研究集会プログラム

期　日　平成 5年 9月 8日（水）～9日（木）
会　場　熊本県熊本市　メルパルクKUMAMOTO

テーマ：　**自然環境の保全と活用**
―火山灰土壌と地下水―

Ⅰ．研究発表会　　９月８日（水）

1）部会長挨拶	9:30～9:35	宮崎大学農学部	細山田健三
2）来賓挨拶	9:35～9:40	九州農政局建設部長	牧　勝史
3）主催者挨拶	9:40～9:45	熊本県農政部次長	茨木　教晶
4）熊本県における農地保全対策	9:50～10:30	熊本県農政部	白石　武彦
5）中国における砂漠化防止活動と農業開発	10:30～11:15	鳥取大学乾燥地研究センター	山本　太平
6）熊本地域の地質と地下水	11:15～12:00	熊本県企画開発部	田中　伸廣
7）昼食・休憩	12:00～13:00		
8）リル網形態の数量化およびその発達過程の数理モデル	13:00～13:45	山口大学農学部	深田　三夫
9）雲仙岳噴火による農地災害復旧対策	13:45～14:30	長崎県島原振興局農林部	増崎　一夫
10）高原畑における営農的農地保全	14:30～15:15	熊本県農業研究センター	兼子　健男
11）総合討論	15:30～17:00		

Ⅱ．懇親会　　18:00～20:00　　於　メルパルク KUMAMOTO

Ⅲ．現地見学会　　９月９日（木）

《コース》　熊本県庁前集合（9:00）出発（9:10）→県営農地保全事業化粧塚地区（9:40～10:20）→白川水源（10:50～11:20）→阿蘇山上（12:00～13:30）→大観望（14:00～14:30）
《解　散》　熊本空港解散（15:30）→熊本駅解散（17:00）

目　　次

あ い さ つ

農地保全研究部会長　細山田健三 …… 4

1．熊本県における農地保全対策

熊本県農政部　白石　武彦 …… 6

2．中国における砂漠化防止活動と農業開発

鳥取大学　山本　太平 …… 20
乾燥地研究センター

3．熊本地域の地質と地下水

熊本県企画開発部　田中　伸廣 …… 39

4．リル網形態の数量化およびその発達過程の数理モデル

山口大学農学部　深田　三夫 …… 56
日下　達朗

5．雲仙岳噴火による農地災害復旧対策

長崎県島原振興局農林部　増崎　一夫 …… 74

6．高原畑における営農的農地保全

熊本県農業研究センター　兼子　健男 …… 87
小財　伸

あいさつ

農業土木学会農地保全研究部会
部会長　　細山田　健三

昨年度より部会長をお引き受けし、昨年は研究集会を宮崎市で開き、本年は熊本市において開催することができますことを、深く感謝申し上げます。

最近のＯＥＣＤにおける農業と環境の議論によると、高い農業保護や輸出補助金の存在の下で過度の生産投入財（肥料や農薬）などにより集約度を高め、過剰生産をもたらす先進国農業に対して批判的議論がなされているようであります。このような農業と環境の問題の中で、農地およびそれをとりまく環境を保全しつつ農業生産の高度化・安全化をめざす本研究部会の研究方向は正しいと考えます。

昭和55年６月に草津市（滋賀県立短大農業部）において第１回研究集会が開かれて以来、今回の熊本市での研究集会は第14回を数えることになります。

さて、昨年は、全国的に見て、もっとも受食性の大きい南九州の代表的な火山灰土壌シラスを主体的にとりあげ、シラスに対する農地保全事業の効果や、シラス法面への新しい植生工法、現に活動して被害を与えている桜島噴火に伴う降灰の影響と対策、噴火堆積物を押し流す土石流とその対策、シラスを利用した新素材の開発・応用について講演していただき、議論を深めることができました。また、研究のため来日中の台湾国立屏東技術学院の徐森雄教授から、台湾における急傾斜地の土壌侵食対策についてお話しいただき、我国同様に台風に見舞われる山地国の土壌侵食対策の理解を深めることができました。

本年は、九州のほぼ中央に位置し、世界最大級の活火山阿蘇を有し、昔から火の国といわれてきた熊本において開催致しますので、何かそれにふさわしいテーマにしたいと考えました。熊本は、天草諸島のような海に囲まれた自然と九州中央山脈の中心地阿蘇の山地自然など、まことに豊富な自然に恵まれたところであります。

今回の研究集会のテーマも、そのような自然環境を保全しながら活用することをねがったテーマとし、阿蘇等の火山灰土壌（ヨナなど）と阿蘇山系の豊富な地下水のことを念頭においた副題と致しました。

熊本県は以上のような恵まれた自然環境と生来生まじめな人的資源に恵まれ、我国でも有数の先進的な農業を築いてきたところであります。

ここで従来の熊本県の豪雨災害について考えてみますと、25年間の降雨記録

年間分布によると、熊本市は九州の中でも宮崎市長崎市についで大きく、ほぼ鹿児島市に等しいようであります。その中で、夏季３カ月（６、７、８、月）でみると、九州で最も大きく、夏季には全国の中でも熊本、長崎周辺は最大級の侵食性を示す降雨があるということになるようであります。

さて、今回の講演におきましては、６人の講師の方に講演をお願いすることに致しました。

まず、以上のべてきましたような熊本の自然環境条件の中で、熊本県で講じてこられた農地保全対策についてお話しいただきます。

続いて、農地保全の問題を考えるとき、単に一地域とか一国の問題にとどまらず、グローバルな環境保全問題を結びつけて考える必要があるという立場から、海外の農地環境保全問題として「中国の砂漠化防止活動と農業開発」と題してお話しいただくことに致しました。中国の砂漠化の問題は、我国における春先の黄砂現象と密接に関係し、また同地において我国の砂漠化防止活動が続けられています。

続きまして、熊本地域の阿蘇山系にもとずく地質と豊富で良質な地下水について、地質学的、地下水学的な立場からお話しいただきます。

午後からは、土壌侵食の理論的なお話しとして、「リル網形態の数量化およびその発達過程の数理モデル」と題して、リル網の形態をフラクタル次元を用いた数値化などの方法で研究されたものを提示していただきます。

続いて、平成３年６月に、198 年ぶりに噴火し、大火砕流が起こり、43名の犠牲者を出し、現在も終息の方向にない雲仙普賢岳の噴火災害の農業への影響、その対策について、お話しいただきます。最近の我国の自然災害の連続的な発生や、地域規模での自然災害の発生を見るにつけても、文明の発展、技術の高度化にもかかわらず、自然力に対しては抗し難いことを痛感します。

最後に、地元熊本県の高原畑における営農と農地保全の問題について、実情をふまえてお話しいただくことになっています。

講演にひき続いて、総合討論の時間が設けられていますので、講演の内容について、さらに国際的、地球的視点での農地保全、環境保全問題について、活発な意見交換がなされることを期待いたします。

最後になりましたが、本研究集会および現地見学会開催については、熊本県農政部農地整備課の関係職員の方々に並々ならぬお世話をいただき、また九州農政局の方々にもご協力いただきました。ここに重ねて厚くお礼申し上げます。

熊本県における農地保全対策

熊本県農政部農地整備課　　白石　武彦

1．はじめに

本県は、九州の中央部に位置し九州の全ての県に陸または、一衣帯水の海で接しています。気候は温暖で、土地条件、豊富な水資源に恵まれ、古くは「火の国」ともよばれ繁栄していました。県下各地で無土器時代の石槍、細石器、石刻等が出土し、また５００カ所にわたる縄文時代の遺跡や１００カ所以上の弥生時代の遺跡が発見されています。また、大和朝廷の国土統一時代の豪族の遺した高塚古墳もおびただしく分布しており、当時の繁栄を物語っています。近世の加藤清正や歴代の細川藩主の時代は優秀な土木技術により治水、利水、干拓などが積極的に進められ九州の雄藩として全国的に名を知られていました。

産業、経済面では、本県の基幹産業である農業については、農業生産や消費活動を通じて、地域経済への影響が大きく、例えば、農業生産額の増加がもたらす生産や消費への誘発効果は、１．５９倍（県試算）と大きく、商業、食品工業、運輸業など多くの部門に、波及効果を及ぼしています。

工業についても、本県のもつ土地と水など有利な自然的条件に加え、住みよい環境、豊富な労働力などの利点が認められ大型の企業が進出し、特に近年は、熊本市を中心とした「テクノポリス」地域指定と相まって、先端企業の立地が相次ぎ、その出荷額は、全国有数の伸びを示している。

また、本県の観光として、「火の国・熊本」を象徴する阿蘇山は、世界一のカルデラといわれ、広大な草原には、牛馬がのんびりと草を食んでいます。怪しくゆれる不知火の明かりと黒潮寄せる南海の楽園・天草は、キリシタン哀史とともに訪れる人を異国への幻想に駆り立てています。不落の名城とうたわれた熊本城は、鬱蒼とした楠に囲まれ、「森の都・熊本」にふさわしい美しい情景を醸し出しています。

2．熊本県農業の概況

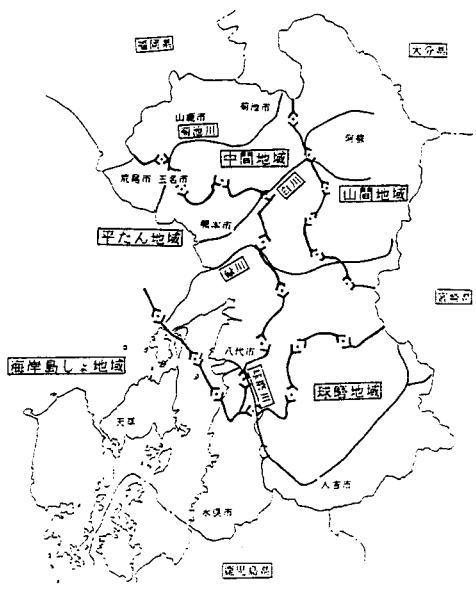
①　立地条件

本県は、我が国の西南に位置し、西は天草から芦北にかけて海岸島しょ地域から、東は九州山地の山間地域まで、変化に富む地形や気象を有しています。

具体的には、天草から芦北にかけての温暖で傾斜地が多い海岸島しょ地域、有明海から不知火海沿岸にかけての大河川流域に広がる平坦地域、阿蘇から矢部にかけての山間地域、両地域に挟まれた中間地域、さらには人吉盆地を中心とした球磨地域などに区分され、それぞれの地域の特性を生かした農業生産が行われています。

また、気象的にも天草の無霜地帯か

エ－１　農業地域及び農業地帯区分図



ら、夏でも冷涼な阿蘇の高原地帯を有するなど、平均気温で１２度から１７度と５度の温度差があり変化に富んでいます。

一方、本県は、関東、中部、近畿などの大消費地から遠隔に位置しており、遠距離輸送に依存した産地が多いものの、高速自動車道の整備や鮮度保持技術の発達により、これらの地域への効率的な農産物の供給が可能になりつつあります。

② 農業就業者

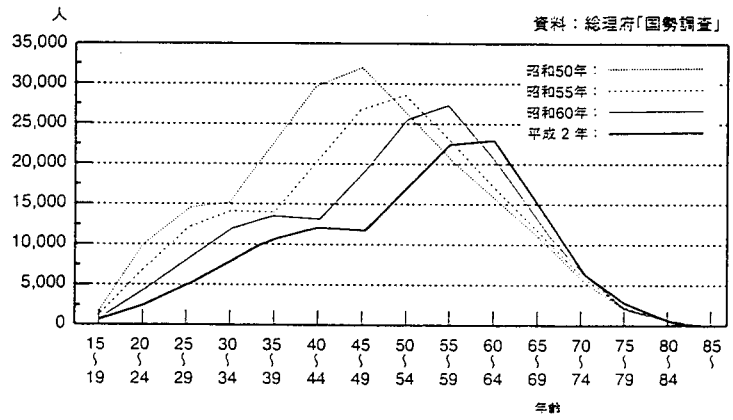
本県は、我が国有数の食料供給基地としての地位を確立しており、農業就業者は、全国で７番目に多く、新規就農者も北海道に次いで第２位となっているなど県農業発展の原動力となっています。

しかし、農業就業者は、他産業の雇用機会の拡大が進んだことなどにより、その数は減少しています。

特に、新規就農者の減少など若い農業就業者の減少が大きく、農業就業者の高齢化が進んでいます。

図－２

年齢別農業就業者の推移



さらに、本県農業の発展を支えてきた、昭和一桁生まれの農業就業者が、リタイアの時期を迎えており、今後、就業者数の急激な減少が懸念されています

また、農業就業者を男女別に見ると約半分を女性が占めており、女性は生活面ばかりでなく、生産面においても、重要な役割を果たしています。

③ 耕地面積と土地基盤の整備水準

平成２年の耕地面積は、昭和５５年から９，０００ha減少し、１４０，５００haとなっています。

これは主に、宅地、工場用地などへの転用によるものであり、最近はかんきつの園地転換による樹園地の減少が目立っています。

本県の耕地面積（平成２年）

- 140,500ha
  - 田　81,000ha
  - 畑　59,500ha
    - 普通畑　28,100ha
    - 樹園地　23,800ha
    - 牧草地　7,600ha

また、土地基盤の整備水準を見ると、水田圃場整備は、中山間地域や旧干拓地で遅れているものの、平坦地域を中心に整備が進み、全体では６４％（要改良面積に対する比率）となっています。

しかし、水田の区画については、地形上の制約などから２０ａから３０ａの区画が大半を占め、効率的な大規模水田営農の条件整備のための１ha以上の大区画の整備は、まだ小面積にとどまっています。

一方、畑地帯における畑地かんがいと圃場整備は、水資源開発の遅れや地形的制約などにより、水田に比べて遅れています。

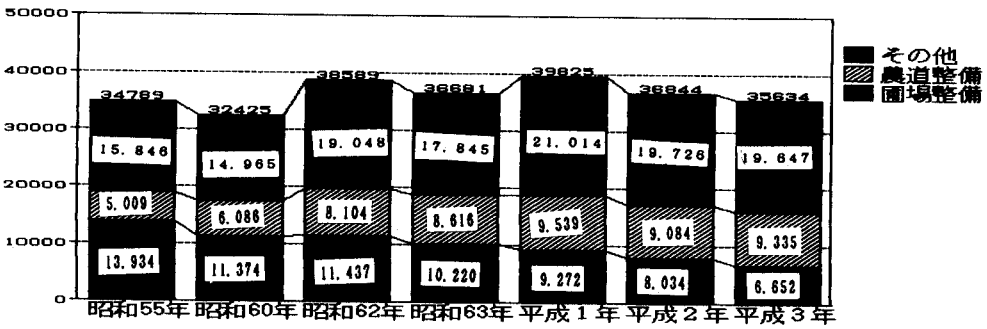
農産物流通合理化のための広域農道は、既に全面供用されている区間を含め当面の計画（平成７年度までの目標２００㎞）に対し、７８％の整備となっています。

表－１ 土地基盤整備の状況 （平成４年３月末）

	地目	耕地面積	長期目標面積	整備済面積	率
用排水改良	水田	80.500ha	66.100ha	58.600ha	89%
	畑	58.800ha	25.200ha	8.300ha	33%
圃場整備	水田	80.500ha	55.300ha	35.500ha	64%
	畑	58.800ha	16.400ha	5.300ha	32%
農道整備	水田	80.500ha	66.100ha	43.400ha	66%
	畑	58.800ha	51.200ha	35.800ha	70%

本県の投資された農業農村整備事業費は図－３に示すとおり、昭和５５年度の海岸保全、災害復旧費を除く土地基盤整備費の約３４８億円から、厳しい財政抑制や整備の進展にともない下降線をたどっていましたが、昭和５８年度を境に内需拡大等の実施により増加してきました。昭和６２年度以降は、多少の変動はあるもののほぼ横ばい状態でありましたが、平成２年度以降国営事業が減少したため、平成３年度は前年度より約３％減少し、約３５６億円となっています。

図－３ 農業農村整備事業投資額の推移
（農用地建設業務統計調査）



④ 農業生産

本県では、立地条件を生かした多様な生産が行われており、作目は、水稲、野菜、果樹、畜産、工芸作物、花きなどと比較的バランスがとれています。

品目別には、甘夏みかん、すいか、露地メロン及びいぐさの生産量が日本一であり、その他主要品目で全国１０位以内に入るものが９品目あるなど、全国的な産地が多数形成され、平成２年の農業粗生産額は、４，０１６億円で全国第５位となっています。

また、平坦地域を中心とした全国的な主産地のほか、中山間地域や天草などを中心にそれぞれの地域の立地条件を生かした有機農業、小物青果物、早期水稲などの特色ある産地が形成されています。

一方、品目別の生産額の動向についてみると、米が生産調整などで減少傾向にあるのに対し、野菜、花きは、需要に即した生産により順調に伸び、果実は園地転換などにより需給バランスが回復し、減少に歯止めがかかりつつあります。

また、工芸作物は、近年、葉たばこの面積減、畳表の価格低下などで低迷していましたが、畳表の価格上昇から回復してきたところです。畜産は、海外からの牛肉輸入の増加などの影響を受け、やや減少傾向となっています。

らの牛肉輸入の増加などの影響を受け、やや減少傾向となっています。
熊本県農業の全国における地位は表－１のようになっております。

表－１　　全国における熊本県農業生産の地位（平成２年）

区　　分		単位	全　国	九　州	熊本県	熊本県の全国に占める	
						順　位	割　合
農家戸数		千戸	3,834.7	567.7	96.9	１７	2.5%
耕地面積		千ha	5,243.0	667.7	140.5	１２	2.7
農業粗生産額		億円	112,783	20,341	4,016	５	3.6
主要農産物生産	い草	千ｔ	90.3	82.9	70.3	１	77.9
	甘夏みかん	〃	169.7	98.6	61.3	１	36.1
	露地メロン	〃	379.3	131.1	95.7	１	25.2
	すいか	〃	753.0	186.7	121.2	１	16.1
	くり	〃	40.2	9.4	5.4	２	13.5
	トマト	〃	767.1	118.7	55.9	２	7.3
	温州みかん	〃	1,653.0	622.0	150.6	４	9.1
	葉たばこ	〃	80.5	27.7	6.0	５	7.4
	肉用牛	千頭	2,702.0	867.6	140.9	５	5.2
	乳用牛	〃	2,058.0	197.4	63.7	６	3.1
	大豆	千ｔ	220.4	37.7	10.1	６	4.6
	荒茶	〃	89.9	24.4	2.3	７	2.6
	小麦	〃	951.5	155.4	25.5	８	2.7
	水稲	〃	10,463.0	1,209.7	259.4	１４	2.5

資料：農林水産省　平成２年「農業センサス」「作物統計」「家畜統計」
「生産農業所得統計」「養蚕統計年報」「畜産統計」

3．熊本県の気候と土壌

水食、風食、地すべり、山崩れ等によって生ずる農地の侵食、崩壊、農地への土砂の滞積等を防ぎ、これにより農地の生産力を維持保全するという農地保全対策にとって、その地域の降雨状況や土壌の性質は重大な意味を持っていますので、熊本県の気候と土壌についてふれてみたいと思います。

(1)気　候

本県の気候は内陸型気候に属していますが、北、東および南の三方は山岳に囲まれており、西方には宇土半島が突き出て、有明海と不知火海に分け、宇土半島の南西には、大小１２０余の島からなる天草諸島が散在しているという地理的条件等から地域的に気象特性が著しく異なっています。

①気　温

本県の年平均気温は１５℃～１６℃で他の地域と余り変わらないが、夏の暑さ、冬の寒さは厳しいばかりでなく一日の温度変化も大きいといわれ、８月の最高気温は平均３２．６℃で南九州はもとより薩南諸島の暑さもこれに及ばないといわれています。

②雨　量

本県の年間降水量は２，０００mm前後でありますが、６，７月の梅雨時期にはしばしば強い雨が集中して降る傾向があります。梅雨に大雨をもたらす原因は、東シナ海々上の暖かい湿った空気であります。この暖かい湿った空気は、梅雨前線の活動が活発なときに熊本県の西側から舌状（湿舌と云う）となって流入し、県の北側から東側にかけて連なる九州山地の影響を受け、地域内に集中的な大雨を降らせるのであります。

台風は本県の地形が幸いして、宮崎県や鹿児島県に比べて少ない傾向にあります。また、台風が県内を通過するか或いは九州の西岸に接近して北上する場合は、不知火海、有明海の堤防に台風を正面に受け被害が大きくなる傾向にあります。災害は風雨によるものと、有明海と八代海の沿岸部で起こる高潮によるものが多くなります。

一方、台風が九州の東側を進む場合は、風による災害は少なく大雨による災害が発生しやすくなります。台風の接近や上陸は夏から初秋にかけてが普通でありますが、阿久根台風やルース台風のように強い台風が１０月に上陸したケースもあります。

特殊気象（１９３３年～１９９２年）

順位 / 項目	第１位		第２位		第３位		第４位	
	数量	年月日	数量	年月日	数量	年月日	数量	年月日
最大日雨量	mm 480.5	S 32,7,25	432.3	S 28,6,26	407.5	S 57,7,24	406.4	S 38,8,9
最大時間雨量	mm 97.6	S 24,8,12	88.2	S 31,9,16	87.6	S 33,8,13	81.0	S 60,7,19
最大連続総雨量	mm 564.8	S32,7,25 ~32,7,26	524.4	S28,6,25 ~28,6,27	481.6	S3,6,26 ~3,6,28	480.3	S10,6,28 ~10,6,30
連続干天日数	日 71	14,11,17 ~15,1,27	59	S31,12,5 ~32,2,1	50	22,10,10 22,11,28	41	S3,12,16 ~4,1,25

（２）土　壌

①地　質

本県の地質は、まことに複雑で堆積岩類だけでも、変成岩地域もあれば、古生層・中世層はもちろん第三紀層から洪積層を経て沖積層まで幅広い存在を示し、また、火成岩類も、その種類に富むばかりでなく、阿蘇溶岩などは遠く大分・宮崎・福岡・佐賀・長崎の各県に及ぶ比類のない広域分布を示し、本県の地質構造の複雑性を物語っています。

②土　壌

県の北東部に位置する複式火山として世界的に有名な阿蘇山の噴出物によって基礎的地盤が形成されており、特殊土壌地帯として県下の９４市町村のうち５２市町村が指定を受けています。特殊土壌としては大部分が阿蘇火山からの噴出火山灰であるヨナ（黒ボク、赤ボクを含む）、赤ホヤであり、県北東部にかけて広く分布しています。また、県北部に花崗岩風化土（マサ）が、県南部の人吉、球磨地方にシラスが分布しています。その面積としては県土の５８％にあたる４，３０２ ㎢に及んでいます。

③特殊土壌の特徴

●　ヨナ（黒ボク、赤ボクを含む）

阿蘇中央火口より噴出された、新鮮火山灰ないしは、比較的新しい火山灰土を、俗称として、”ヨナ”と呼んでいます。語源に関しては、アイヌ語のＵｉｎａ（火山灰）に由来するものと云われています。したがって、ヨナは腐植をほとんど含まず、灰白色を程したものから、黒ボクの上に堆積して、腐植を含んだ黒灰色の表土まであり、後者の方には、黒ボクに比べて、やや砂質的ではあるが、外見上、黒ボクと厳密な区別をつけ難いものも少なくありません。

黒ボク、赤ボクなどの火山灰質粘性土は、堆積した火山灰が、温暖多湿の条件の下で比較的早く風化作用が進み、アロフェンと呼ばれる非晶質の粘土鉱物が生成されたものと考えられています。したがって、火山灰質粘性土の性質は、アロフェンによって特徴づけられていると云えます。

最上層はアロフェンを主体とする粘性土に有機質が結びついて、黒色土層となっているので、黒ボクと俗称されています。その下層にあって、わずかに腐植を含み、黄褐色ないし赤褐色のものを赤ボクと俗称されています。

九州の赤ボクは、比較的新しく、洪積世末期に堆積した新期ローム層で、関東ローム の立川ローム層に対比され、黒ボクは、さらに新しく、中積世に堆積したローム の風化層であるとみなされ、関東ローム の有楽町層に対比されています。

黒ボクを中心として、火山灰質粘性土の特徴としては、粗しょうであり、間隙比が高く、含有水分が非常に多く、自然状態での含水比が６０～１２０％、中には２００％前後の値を示すものもあります。また、自然状態の湿った土をいったん乾燥させると、物理的・工学的性質が大きく変わり、かつ、その変化は非可逆的であります。これは乾燥によって土の団粒構造が変り、拘束水が減少することによるものと考えられています。

次に、乾燥した火山灰質粘性土に水を吸収させた場合、大きな膨張を起こします。そして乾燥の度合が強いものほど膨張量が大きくなります。このことは、畑の表面を覆う土が降雨によって吸水膨張し、強度が低下することを意味し、災害の原因となる性質であります。また、火山灰質粘性土は、自然の湿った状

態では、団粒構造が発達して透水性も大きく、容易には侵食されません。しかし、乾燥して密な団粒構造に変化したものが、耕うんその他の機械的な力によって破砕され、細粒化されると、もともと軽しょうな土でありますから、流水や風で侵食されやすくなります。

このような特徴により、火山灰台地上の畑地土壌が、よく耕うんされ、手入れされたものであるほど、侵食を受けやすい状態になってくる一面を持つことは避けず、農法的・工法的な侵食防止対策が必要となって来るのであります。

● 赤ホヤ

主として、南九州を中心に、中北部九州から四国地方にまで広く分布する黄燈色ガラス質火山灰土の俗称であります。赤ホヤは、別名、”オンジ”或いは、”イモゴ”とも呼ばれ、その土層は、九州の火山灰土分類上の重要な鍵層で、噴出年代は、B．P．４，０００～５，０００年と推定されています。土性は土壌アルミニウムの活性度が大きいため、リン酸吸収力が強くリン酸欠乏となっているばかりでなく、施用されるリン酸肥料は吸収固定されやすく、その大部分は作物に利用されがたいものとなっています。また、強い酸性土壌ではないが、適量の石灰を施用してｐＨを中性に近く保たないと強酸性土壌と同様な障害を受けることとなります。

● 花崗岩風化土（マサ）

マサ土とは、花崗岩質の岩石がその場所で風化した残積土及びこれからもたらされた崩積土（がいすい土）とされています。このため、粘質に乏しく、通気性や透水性に富み、わずかの水分を含んだだけで流動しやすくなります。また、耕土はアルカリ性に乏しい上、肥料分が流亡しやすく、干害とあいまって作物の生育ははなはだ不良となります。

● シラス

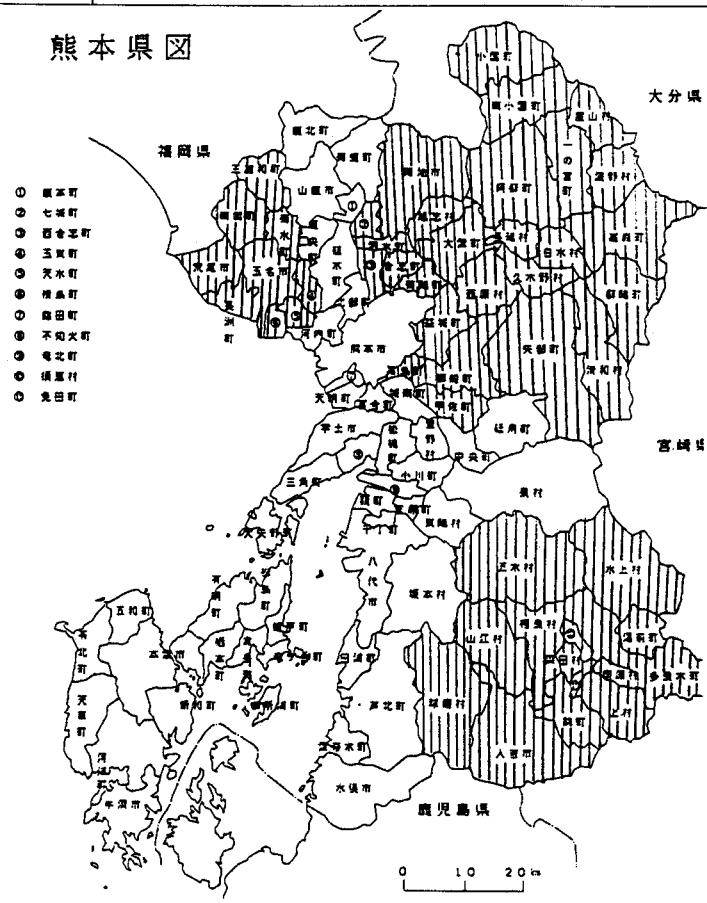
大規模な熱雲式の火山活動によって生じた、非熔結ないし弱熔結性の軽石質火砕流堆積物であり、その主体は、軽石と火山ガラスであります。分布地域は、鹿児島県本土の５２％、宮崎県南部の３２％と熊本県南部の一部分に及び、面積は約６，０００㎢ に達しています。堆積の厚さは、厚いところでは５０cm～１００mに及び、台地周辺部は３５°～８５°の急傾斜面または断崖となっています。その土性は、孔ゲキが多く、作物の養分吸収の対象としての土壌物質が少なく、透水性、通気性が過剰で養分の溶脱消耗が激しくなります。また、粘土分が少なくかつアロフェン態であるため、養分の吸収保持分が少なく、また、団粒化の程度が低く、粗しょうに過ぎて、風食や水食を非常に受けやすい特徴があります。

シラスの侵食状況

特殊土壌地帯指定一覧表

指定年月日	指　定　市　町　村　名
昭和27年10月27日 （2市15町16村）	熊本市の一部（旧秋津村）、人吉市 阿蘇郡（6町6村） 一の宮町、阿蘇町、南小国町、小国町、産山村、 波野村、蘇陽町、高森町、白水村、久木野村、 長陽村、西原村 上益城郡（5町1村） 御船町、嘉島町、益城町、甲佐町、矢部町、清和村 球磨郡（4町9村） 錦町、上村、免田町、岡原村、多良木町、湯前町、 水上村、須恵村、深田村、相良村、五木村、 山江村、球磨村
昭和28年12月29日 （3市15町1村）	荒尾市、玉名市、菊池市 玉名郡（8町） 岱明町、横島町、天水町、玉東町、菊水町、 三加和町、南関町、長洲町 菊池郡（6町1村） 七城町、旭志村、大津町、菊陽町、合志町、 泗水町、西合志町 鹿本郡の一部（菊鹿町のうちの旧城北村）

熊本県図



4．農地保全整備事業の概要

（1）農地保全事業実施状況

本県における農地保全事業は、表－　のとおり農地侵食防止工事（シラス対策、特殊土壌対策、急傾斜対策）を実施しています。

①シラス対策

鹿児島県・宮崎県主体の事業でありますが、本県では昭和４８年に人吉市で着工した県営田代地区が第１号であり、現在までに完了地区１０地区（受益面積９０６ha）、継続地区６地区（受益面積２８７ha）を実施しています。

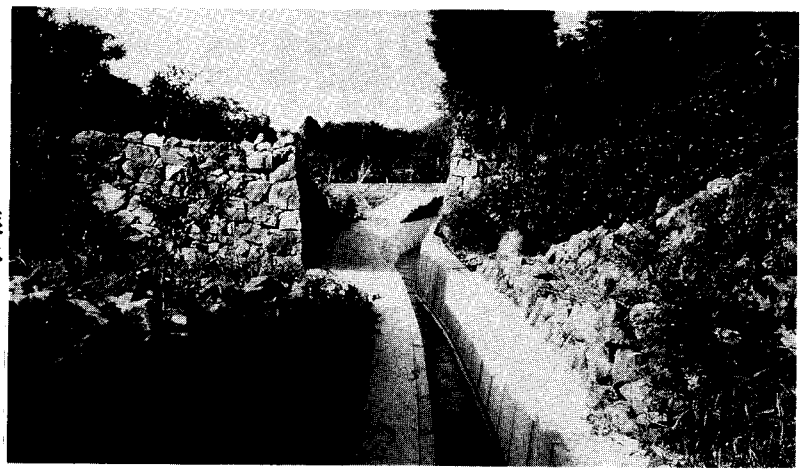
②特殊土壌対策

昭和４３年に着工した県営深迫第一地区（熊本市）を皮切りに、現在までに完了地区６地区（受益面積８１１ha）、継続地区２地区（受益面積７１ha）を実施しています。

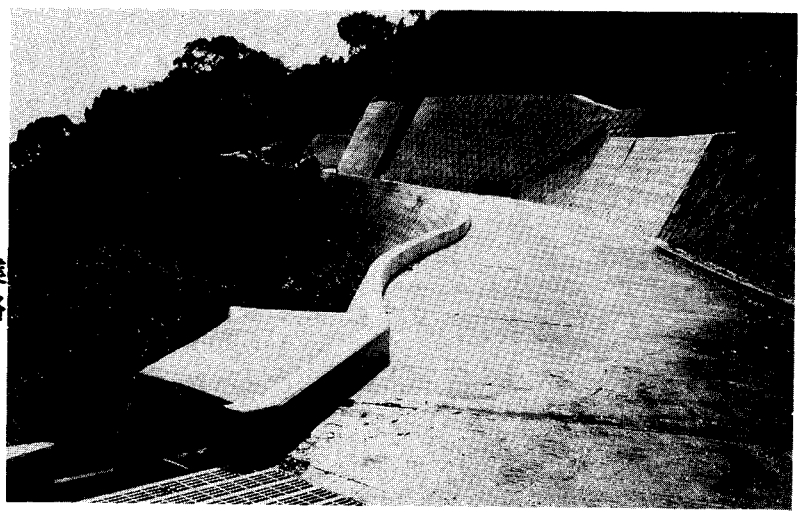
③急傾斜対策

農地侵食防止事業として県内で最初に昭和４０年に着工した河原谷（玉名市・天水町・玉東町）を皮切りに、現在まで完了地区６地区（受益面積４９２ha）、継続地区４地区（受益面積２０９ha）を実施しています。

急傾斜対策事業
集水路



急傾斜対策事業
水路兼用道路



県営農地保全整備事業（完了・継続）地区調書

平成５年４月現在

管内名	区分	シラス対策			特殊土壌対策			急傾斜対策		
		地区数	受益面積	総事業費	地区数	受益面積	総事業費	地区数	受益面積	総事業費
			ha	千円		ha	千円		ha	千円
熊本	完了	0	0	0	3	621	514,000	4	303	1,162,000
	継続	0	0	0	0	0	0	4	209	1,754,800
	計	0	0	0	3	621	514,000	8	512	2,916,800
宇城	完了	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	継続	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	0	0	0	0	0	0
玉名	完了	0	0	0	0	0	0	1	144	94,000
	継続	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	0	0	0	1	144	94,000
鹿本	完了	0	0	0	0	0	0	1	45	100,000
	継続	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	0	0	0	1	45	100,000
菊池	完了	0	0	0	1	51	7,000	0	0	0
	継続	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	1	51	7,000	0	0	0
上益城	完了	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	継続	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	0	0	0	0	0	0
阿蘇	完了	0	0	0	1	27	176,949	0	0	0
	継続	0	0	0	2	71	416,000	0	0	0
	計	0	0	0	3	98	592,949	0	0	0
八代	完了	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	継続	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	0	0	0	0	0	0
芦北	完了	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	継続	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	0	0	0	0	0	0
球磨	完了	10	906	4,291,000	1	112	173,000	0	0	0
	継続	6	287	2,449,500	0	0	0	0	0	0
	計	16	1,193	6,740,500	1	112	173,000	0	0	0
天草	完了	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	継続	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	完了	10	906	4,291,000	6	811	870,949	6	492	1,356,000
	継続	6	287	2,449,500	2	71	416,000	4	209	1,754,800
	計	16	1,193	6,740,500	8	882	1,286,949	10	701	3,110,800

平成５年度県営農地保全整備事業実施地区調書

単位：千円

区　分	管内名	地区名	所在地	採択年度	受益面積	総事業費	４年度	５年度
					ha			
シラス対策	球磨	蓑原(みのばる)	人吉市 球磨郡山江村	Ｓ58	68	679,000	12,000	10,000
	〃	蓑原二期(みのばるにき)	球磨郡山江村	Ｓ59	32	480,200	12,000	15,000
	〃	梨の木(なしのき)	球磨郡湯前町	Ｈ２	54	497,800	45,000	57,000
	〃	長尾(ながお)	球磨郡湯前町	Ｈ２	30	352,500	50,000	53,000
	〃	知識原(ちしきばる)	球磨郡錦町	Ｈ３	63	247,500	48,000	50,000
	〃	潮山(うしおやま)	球磨郡湯前町	Ｈ３	40	192,500	30,000	30,000
	計	６地区			287	2,449,500	197,000	215,000
特殊土壌対策	阿蘇	化粧塚(けしょうづか)	阿蘇郡西原村	Ｈ３	42	216,000	68,600	50,000
	〃	井手の元(いでのもと)	阿蘇郡西原村	Ｈ５	29	200,000	0	5,000
	計	２地区			71	416,000	68,600	55,000
急傾斜対策	熊本	上松尾(かみまつお)	熊本市	Ｓ62	60	585,100	30,000	38,400
	〃	近津(ちこうづ)	熊本市	Ｓ63	67	535,800	70,000	40,000
	〃	平山(ひらやま)	熊本市	Ｈ元	57	385,900	70,000	62,000
	〃	北谷尾崎(きたたにおざき)	熊本市	Ｈ５	25	248,000	0	5,000
	計	４地区			209	1,754,800	170,000	145,400
県　計		１２地区			567	4,620,300	435,600	415,400

県営農地保全整備事業の事業費及び地区数の変遷

単位：千円

年度	Ｓ６０	Ｓ６１	Ｓ６２	Ｓ６３	Ｈ元	Ｈ２	Ｈ３	Ｈ４	Ｈ５
事業費	369,000	374,760	484,505	384,634	388,080	412,783	433,520	435,600	415,400
地区数	４	４	４	５	６	８	１１	１０	１２

(2) 農地保全事業の今後の計画

平成元年度に実施した要防災事業量調査結果をもとに、立地条件により災害を受けやすく、低生産性を余儀なくされている地域について、今後とも災害の未然防止に向けて、緊急性を考慮しながら計画的な農地の保全整備を進めていく予定であります。

表－　　平成５年度以降着工予定地区

地区名	関係市町村	受益面積 ha	市町村着工希望			備考
			H 5	H6～H12	H13以降	
北松尾	熊本市	70		○		急傾斜
北谷尾崎	〃	25	○			〃
東松尾	〃	50		○		〃
芳野	〃	50		○		〃
塩屋	〃	50		○		〃
池上	〃	24		○		〃
花園	〃	46			○	〃
高橋	〃	14			○	〃
北本妙寺	〃	16		○		〃
赤松	芦北町	60			○	〃
里浦	三角町	113		○		〃
大畑	人吉市	50		○		シラス
合の原	〃	50		○		〃
亜門	球磨村	76			○	〃
小天南部	天水町	200		○		特殊土壌
山の神	熊本市	10			○	〃
井手の元	西原村	29	○			〃
産山	産山村	30		○		〃
計	１８地区	ha 963	２地区 (54ha)	１１地区 (703ha)	５地区 (206ha)	

（３）農地保全の事業効果

本県においては、昭和４０年度採択の河原谷地区（玉名市）を最初に平成４年度までに２１地区２，１５８ｈａに対して事業費６，３８６，４７５千円を投資して整備を完了したところであります。

これらの完了地区については、水路の整備により農地の侵食及び災害の防止に効果を発揮しているところであります。

特に、シラス地帯、特殊土壌地帯における農道は、一度降雨があると路面が柔らかく走行困難となることもたびたびであり、大雨では侵食等の災害を受けて、その維持管理に苦労していたのが、関連農道の実施により、大型機械の搬入が可能になりその効果は非常に大きいところであります。

また、急傾斜地帯においては、道路が少ないうえに、降雨によって路面の侵食が増幅し易いところであります。そのため、関連農道は農業用道路としてはもとより、唯一の貴重な生活道路の役割も果たし、山間地における集落の生活環境に大きく寄与しております。この他にも、支線道路の役割を果たしている水兼農道、耕作道路としての平型水路についても関連農道と同じように、地元農家から大変喜ばれており、その効果は大変大きいものであります。

さらに、近年においては、地表水を安全に流下させるためだけの人工的、効率的なコンクリート水路ばかりでなく、魚やホタル等の生息等も考慮した工法も取り入れて、農村環境の整備についても配慮しているところであります。

シラス対策事業（蓑原地区）
水路兼用道路

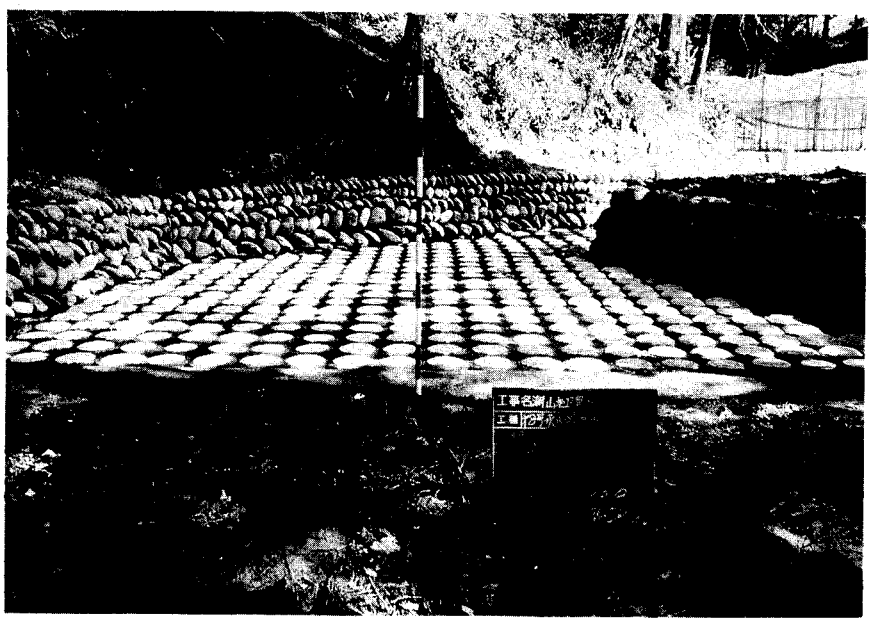
6．あとがき

本県においても、他県の例にもれず、消費者ニーズに対応した高収益作物の安定的生産を図るため、近年ハウス栽培、マルチ栽培等の普及が著しく、流出量の増大や到達時間の短縮等の現象が起きており、事業完了地区、継続地区それぞれについて、新たな検討が必要になってくるものと思われます。

また、完成した農地保全施設についても、その維持管理が適切に行なわれないと、効果どころかかえって、災害を促進させることにもなりかねません。これを防止するためには、地元農家に施設の機能や効果を熟知してもらい、積極的な維持管理に努めてもらうように、施行者においても造るばかりでなく、指導、助言等に努める必要があります。

農地保全事業は圃場内の土壌流亡の防止とガリ侵食、法面崩壊を受けた農地の保全とその安全を図るだけでなく、適切な排水路の配置により農地の排水を急傾斜面に直接流下させることなく、安全に下流側河川に流去させることにより、地区及びその周辺の災害の防止、ひいては生態系や自然環境の保護という観点からも極めて重要な意義を持つ事業でありますので、今後とも、事業を積極的に推進していきたいと思っています。

シラス対策事業（潮山地区）
環境に配慮した承水路



中国における砂漠化防止活動と農業開発
ー特に毛烏素砂漠を対象にしてー

鳥取大学乾燥地研究センター　山本太平

Ⅰ.まえがき

中国の砂漠地帯は、北緯37～47度の間に分布し、総面積128万km^2、中国陸地総面積の約13%を占めている。このうち毛烏素砂漠（約4万km^2）は、内蒙古自治区のオルドス高原の南部に分布している。古来モンゴル民族の豊かな牧畜・草原地帯を形成していたが、1950年代以来、主に人為的要因によって砂漠化が急進した地域である。本砂漠は、他の砂漠地に比べて、砂丘高が10～30mとあまり急峻でなくしかも地下水源に恵まれているので、現在中国における砂漠緑化と農業開発が積極的に実施されている。

砂漠化の進行を防止して、豊かな牧農業地帯を再生するには、まず樹林帯の造成による流砂固定を図る必要がある。牧農地においては、地下水の効率的な利用方式、営農方式等を確立すると同時に一牧農家当りの土地利用形態を明確にして、自然エネルギーを活用した牧農業社会の将来像を策定する必要がある。

ここでは、まず乾燥地の砂漠化防止活動に対するわが国の技術協力のあり方と中国の砂漠化防止活動について概説する。次に、主として1985年以来実施している日中共同研究を通して、毛烏素砂漠における農業・農村開発について紹介する[1、2、3)]。

Ⅱ.砂漠化防止活動の考え方

1.砂漠緑化と農業開発の意義

乾燥地は地球上の全陸地面積の31%近くを占める。砂漠化は、乾燥地において年間5.8万km^2にも達するといわれる。この砂漠化は土地利用別によって発生面積が異なっており、牧草地が3.2万km^2、降雨依存農地が2.50万km^2、灌漑農地が0.13万Km^2程度となっている。

乾燥地の砂漠化防止活動には砂漠緑化と農業開発がある。このうち、砂漠緑化は地球環境の改善に大きな役割を有している。中国の砂漠地はわが国の近い位置に分布するので、環境改善のためには特に積極的活動が必要であろう。また、乾燥地は作物の生育を促す太陽エネルギーが豊富であるので、適正な灌漑条件下や土壌条件下ではわが国の場合より農業生産地として高い潜在力を有している。砂漠緑化と農業開発の意義は図１のように要約されよう。

2.持続可能な開発

乾燥地の開発プロジェクトではプロジェクトを実施した結果水資源の枯渇

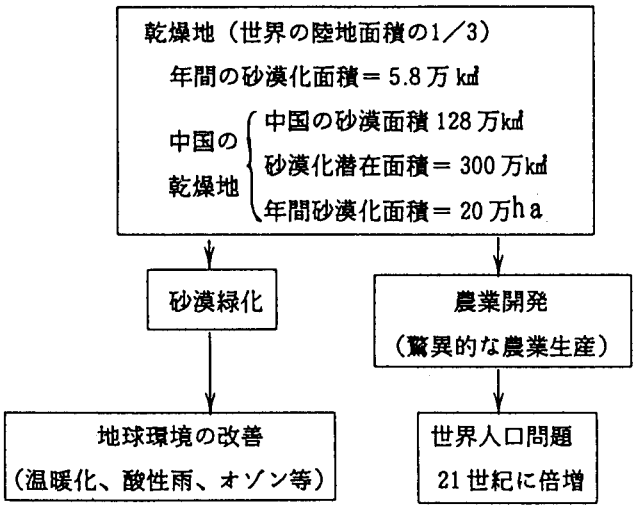


図1　乾燥地開発の意義

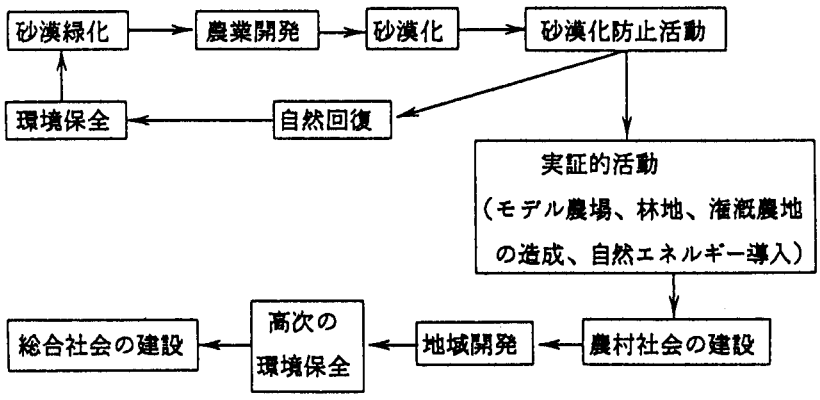


図2　持続可能な開発への概念図

や塩類問題が生じ、開発前より砂漠面積が拡大した事例が多い。砂漠開発に携わる研究者や技術者が十分考慮せねばならないことは、砂漠化が進行しないように開発プロジェクトを研究、計画、実施することである。

図２は持続可能な開発に関する概念図を示す。ここで環境保全は砂漠化防止活動と同じ概念と考えた。持続可能な開発方式には、２種類が提案される。自然回復により環境保全を保つ方式は、過去の歴史においてもしばしばみられる[4]。砂漠化と自然回復のパターンが繰り返され、対象地において画期的な発展が期待されない。実証的開発方式では、開発に伴う環境保全を想定することが重要になる。ここでは、自然回復方式より優先させ、対象地に古来発達した伝統的技術と先端技術との融合を図り、総合社会を想定した砂漠化防止活動について提案したい。

次に、現在わが国が国際的に貢献している砂漠化防止活動に関し整理してみた。即ち、実証的な砂漠化防止活動を表１、先端技術導入を目的とする砂漠化防止活動を表２に示す。

Ⅲ.中国の砂漠化防止活動

１.砂漠化の現況

中国における砂漠の総数は12であり、砂漠面積の大きさでは、タクラマカン砂漠＞クルパトンクト砂漠＞パタンチリン砂漠＞テングリ砂漠＞ホルチン砂漠＞ツァイダム砂漠＞モウソ（毛烏素）砂漠＞クムタク砂漠＞ホンシャンダク砂漠＞クプチ砂漠＞ウランプホ砂漠＞フルンペイル砂漠、の順になっている（図３参照）。また、砂丘の険しさ（砂丘高度差）で比較すると、パタンチリン砂漠＞タクラマカン砂漠＞クムタク砂漠＞テングリ砂漠＞クルパトンクト砂漠＞ツァイダム砂漠＞ウランプホ砂漠＞クプチ砂漠＞ホンシャンダク砂漠＞ホルチン砂漠＞フルンペイル砂漠＞モウソ（毛烏素）砂漠、の順である[5、6]（図４参照）。

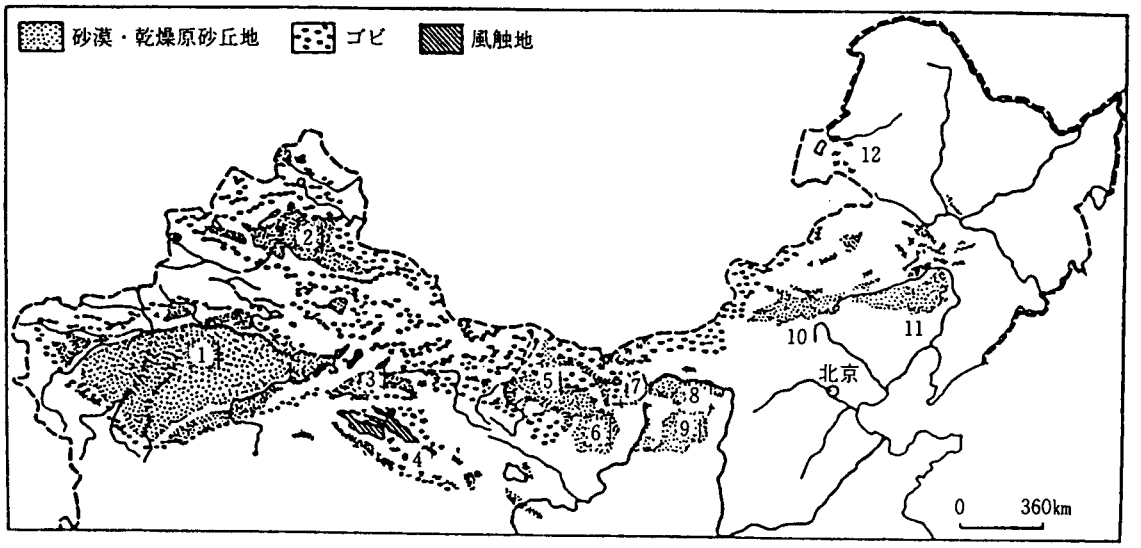
中国においても砂漠化現象は砂漠地帯で急速に進行している。潜在的に砂漠化の可能性を有する砂漠地まで含めると、その面積は300万km^2（全国土の1/3）にも達するといわれる。ここでは中国側で刊行された文献類を参考にして、毛烏素砂漠における砂漠化現象の要因とその機構を図５のように整理した。砂漠化の自然環境要因では、主に気象、水資源、土壌が中心になる。気象条件としては、年平均降水量がわずか350mm程度であるうえ干魃年には降水量がさらに大きく減少すること、北～北西の強風および大きな降水強度による土壌の風食、水食が著しいことである。水資源条件としては、地下水源の全体的な潅漑排水組織が充分でないので地下水の一部は利用されないまま南東部の河川に流去していること、またこの地下水が著しく塩類化している場

表１　わが国の積極的貢献（砂漠化防止の実証的活動）

(1) 政府間援助（ODA、資金、技術、専門家等）
(2) 民間の援助
(3) ボランティア（NGO等）
(4) その他（観光、外国人技術者等）

表２　わが国の先端技術貢献（高次の環境保全技術等）

(1) 緑化技術
(2) 潅漑排水技術
(3) モニタリングシステム（塩類、水質、水量、植生等のリモートセンシング）
(4) 自然エネルギー開発技術（太陽、風等）
(5) 再生水・淡水化システム
(6) 省エネルギーシステム
(7) リサイクル技術（紙、木、プラスチック等）
(8) バイオテクノロジー
(9) その他



1．タクラマカン（塔克拉瑪干）砂漠　2．クルバトンクト（古爾班通口特）砂漠　3．クムタク（庫姆塔克）砂漠　4．ツァイダム（柴達木）盆地砂漠　5．バタンチリン（巴丹吉林）砂漠　6．テングリ（騰格理）砂漠　7．ウランブホ（烏蘭布和）砂漠　8．クブチ（庫布斉）砂漠　9．モウソ（毛烏素）砂丘地　10．ホンシャンダク（渾善達克）砂丘地　11．ホルチン（科爾泌）砂丘地　12．フルンベイル（呼倫貝爾）砂丘地

図３　中国の砂漠分布（中国砂漠概論[6]に一部加筆した。）

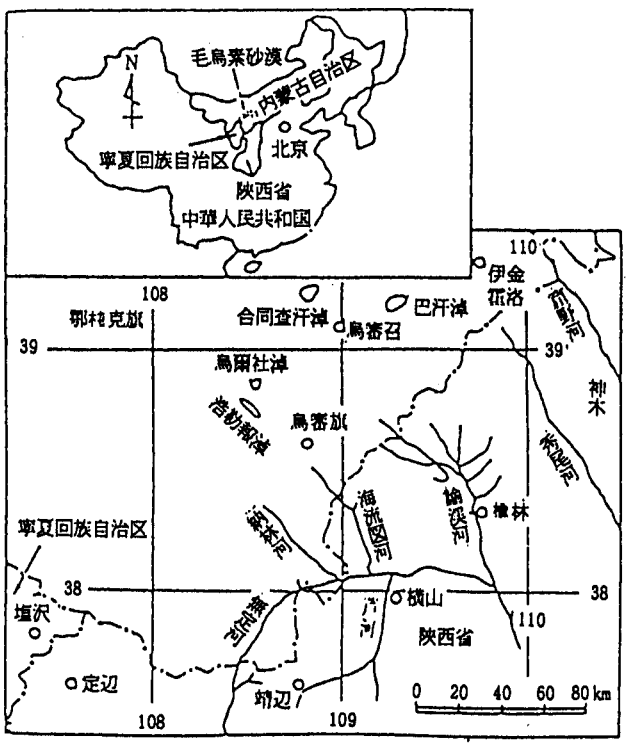


図４　中国毛烏素砂漠における主要な河川と塩湖

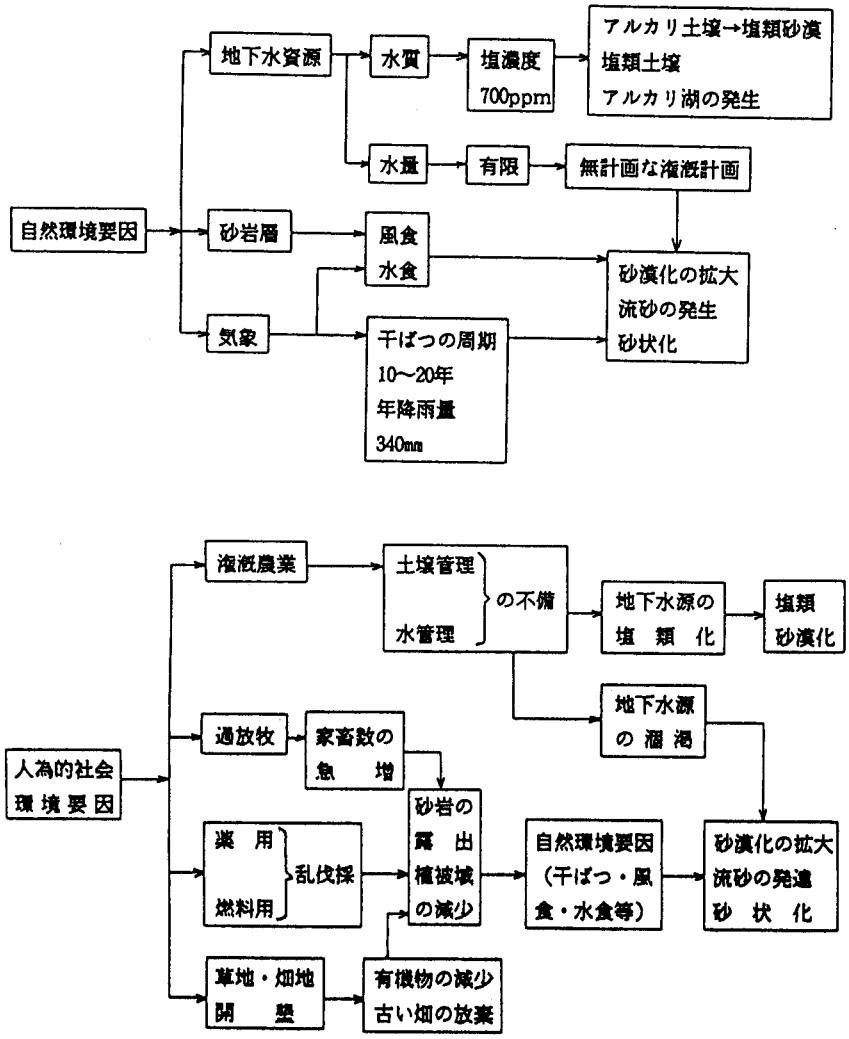


図５　毛烏素砂漠における砂漠化現象の概要とその機構

合には塩湖・塩類砂漠が発達する（図４参照）。土壌条件としては、地盤が脆弱な砂岩層で構成されているので、風食、水食作用で砂状化しやすいことがあげられる。

次に人為的な社会環境要因としては、植被乱伐、過放牧、無計画な開墾、灌漑に伴う水管理や土壌管理の不備があげられる。すなわち、自然植生が燃料用や薬用に乱伐されたこと、1970年代になって家畜の種類と頭数が急増した結果蚕食された草地が増大したこと、草地を畑地に開墾し土壌の肥沃度が低下するとこの土地を放棄するパターンを繰り返したこと、等があげられる。

２.緑の長城計画

多くの砂漠を有する中国において、砂漠化防止に対する熱意は大きく、種々のプロジェクトが検討されている。中国の水工部では、テングリ砂漠と毛烏素砂漠の南進を阻止し砂漠化地域の解決策として、遠大な揚子江の導水計画（南水北調プロジェクト）を提案している[7]。

現在実施中の大プロジェクトとしては、緑の万里の長城計画あげられる。これは、西北、華北、東北（三北と略称する）地区防護林体系の造成であり、風砂の危害と水土の流失を克服して、農業、牧畜業生産の発展を目的としている。三北地区は、12の省、市、自治区を含み中国陸地面積の1/4を占めており、延べ7,000kmにわたる地域に396の県、農村人口4,400万人、総面積約260万km^{2}を擁している。三北防護林体系プロジェクトの第一期工事は、1978年～1985年の間であり、造林保存面積約6万km^{2}の成果をあげたといわれる[8]。人民日報（1990年5月22日）の海外版は、三北防護林体系プロジェクトは対象地区が13の州、551県、人口1.3億人、総面積406.9km^2（国土面積の42.4%）まで拡大し、目標年2020年までの計画造林面積29万km^{2}を報じている。

３.毛烏素砂漠の砂漠化防止活動

毛烏素砂漠は三北地区の中央部付近に位置する。本地域の原住民は主に蒙古族であり本来遊牧民族であった。現在は政府の定住化政策によって１戸当り100～200ha程度の土地を有し、牧畜業を中心にして雑穀類の栽培を行っているが、年収入は中国全土の水準（1992年において1,200元／人）からみてかなり低く経営も不安定である。

内蒙古自治区政府は、1983年に毛烏素砂漠開発整治研究中心（研究センター）を本砂漠の中心部に設置し、積極的な砂漠化防止活動を行った（図６、図７参照）。本研究センターは8,400haの試験地と約30名の職員を擁する。研究内容は、（i）流砂固定、防風林設置体系の確立、（ii）草地改良、改良牧草の栽培利用試験、（iii）緑化のための空中種子散布法の研究、（iv）多種経営法の試験研究、（v）緑化樹木、牧草の病虫害防除の研究、（vi）環境変

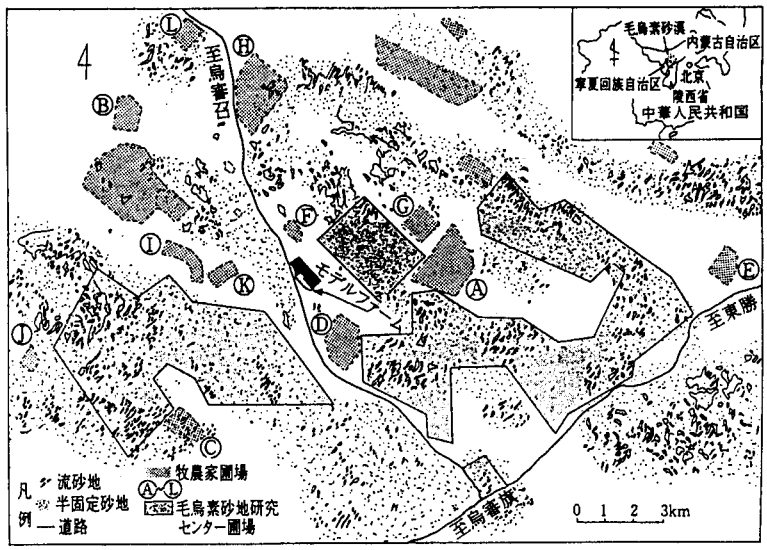


図６　毛烏素沙地研究センター圃場とその周辺域の牧農家圃場の分布（1991年現在）

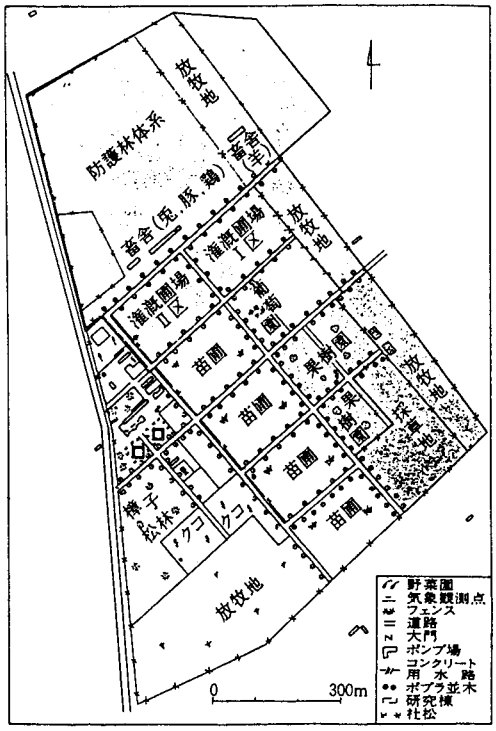


図７　毛烏素沙地研究センターにおけるモデルファーム
（モデルファームはスクリーン・トーン域になる）

化の影響に関する研究、等である。ここではすでに得られている研究成果を周辺の牧農民にいかに普及するかを主眼とした。

例えば、移動砂丘に対して独特の流砂固定法が開発され広く普及した（図８、図９参照）。同時に、自然植生を利用して固砂林、防砂林、護牧林からなる防護林体系が確立された（図１０、図１１参照）。その樹種はヤナギ、ポプラ類が多く大きい枝（3m程度）の直挿である。また砂漠全体の緑化については航空機による種子散布（ヨモギ類、マメ科植物）が実施された。牧草地の改良については、在来種の特性を生かしより生産性の高い品種を普及する試験が行われた。また牧畜業の安定のため、現地の立地条件に適合した野菜、果樹の栽培法、養鶏法等の多種農業についての試験研究も進められた。

Ⅳ.日中共同研究成果

１.気象環境解析[1、2)]

(1)1986年に研究センター内に気象観測所を建設し、日常の観測を開始した（表３参照）。毎日９時の定時観測により、気温、地温、湿度、降水量、蒸発量を測定する。また、自記記録計により、日照時間、日射量、降水量、地温、気温、湿度などが記録される。現時点までの観測データの分析では、本地域における最大可能な日照、日射量に対する実際の観測値の割合（日照率、日射率）はいづれも70%強の高率を示した[3)]。日本の鳥取における日照率は40%弱であることから現地の放射エネルギーが非常に豊富であることがわかった。このことから放射エネルギーを利用するような被覆栽培が有効であることを明らかにした。その他の気象データについても現在分析を進めているところである。

(2)流砂地のなかで砂丘頂部と丘間低地の気温、湿度垂直分布を観測した。砂丘頂部における温度は地表面付近で著しく、湿度も低いのに対し低い草が密生している丘間低地の気温変化は小さく、湿度はかなり高かった。このことは、今後の毛烏素沙漠の緑化の進展にともなって微気象的な変化があり得ることを意味している。

(3)研究センターの圃場において、マルチ、ビニールハウスを用いた試験的な栽培を実施した。供試したトマトの生育は良好で効果は顕著であると考えられるが、これまでは基礎的に地温、土壌水分の変化などを測定し、結果を分析している段階である。

２.灌漑の用水計画

(1)末端圃場の用水計画において、重要な計画諸元値になる作物の蒸発散量の推定法に取り上げ、そのうち計器蒸発法による種々の作物の蒸発散量を求めた。同時に1987年にライシメーターを建設し、牧草の蒸発散量の測定を開始

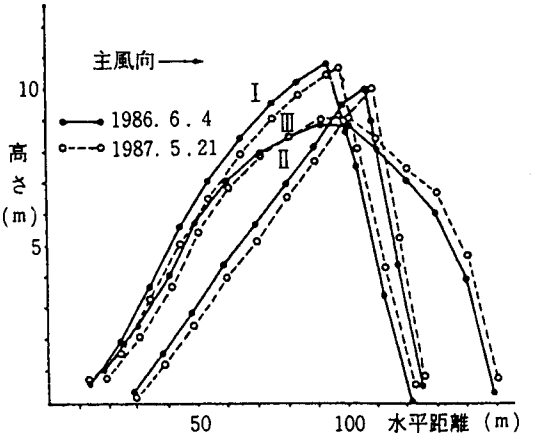


図８　研究センターにおける砂丘の
年間移動状況（小橋ら[2]）

図９　砂丘固定の考え方（小橋ら[2]）

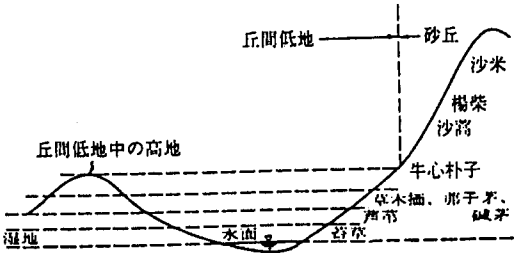


図１０　地下水までの距離による植物種の
“すみわけ”（小橋ら[2]）

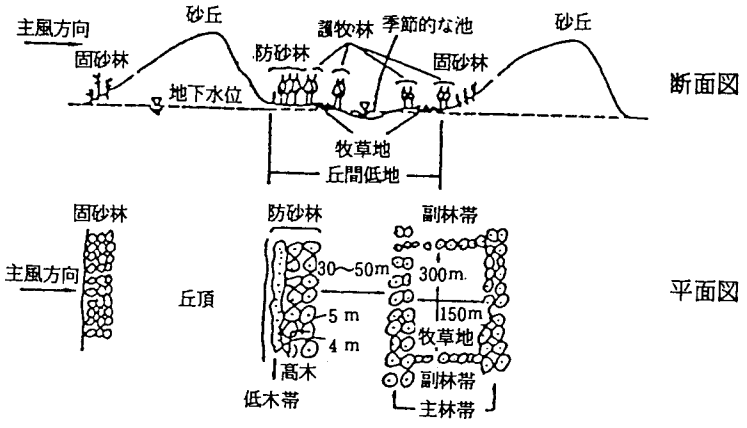


図１１　砂丘と丘間低地防護林体系の模式図（小橋ら[2]）

表３　烏審召の気候表（N39°06′、E109°02′、海抜1,312m）（神近ら[1]）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
平均気温（℃）	-11.4	-7.6	0.4	8.4	15.4	20.0	21.8	20.1	14.0	7.1	-1.8	-9.8	6.4
気温日較差（℃）	16.8	15.2	14.8	14.8	14.0	14.0	12.8	12.4	13.6	15.0	15.4	15.8	14.6
降水量（mm）	2.0	3.0	7.3	16.8	19.8	32.1	96.0	101.5	54.0	23.4	5.0	1.1	362.0
蒸発量（mm）	43.6	62.6	143.4	268.2	371.7	372.0	309.5	239.5	172.1	134.4	74.5	43.6	2,235.1
日照時数（hrs）	223.8	209.3	242.0	251.6	291.9	291.7	275.1	259.1	237.7	242.4	220.1	208.4	2,953.1
平均風速（m/s）	3.2	3.4	3.7	4.4	4.3	3.6	3.4	3.2	2.9	3.1	3.5	3.3	3.5

した。また、一牧農家当たりの水消費量について検討した（表４、表５、表６参照）。
(2)牧草の補給灌漑水量は、1/2年確率年において663.1～681.0mm、1/10確率年において756.4～758.0mmを示した。これらの結果、灌水率（補給灌漑水量／灌漑期間総蒸発散量）と有効雨量率（有効雨量／灌漑期間総降雨量）は、わが国の場合に比べて、灌水率で30～60%、有効雨量率で20～50%増加し、灌漑の必要性、降雨量の重要性を示唆している。
(3)灌漑法については、地表灌漑（水盤）法、スプリンクラー法、点滴法による灌漑効果試験を行った。灌漑水量は、地表法＞スプリンクラー法＞点滴法の順であり、それぞれ、４～６＞２～３＞１であった。即ち、地表法は点滴法に比べ５～６倍の灌漑水量を必要とした。
３.灌漑による塩類集積
(1)毛烏素沙漠における灌漑水の水質について検討した結果、若干アルカリ性を呈するが、ECは低く透水性土壌では問題がないように推定された。
(2)。灌水期間５年では、砂質土の低地下水位圃場において土壌中の塩類集積がみられなかった。
(3)丘間低地のシルト～粘質土圃場の場合には、灌水、気象要素（降雨量、日照時間、気温）によって影響される土壌塩類濃度パターンを図１２と図１３に示す。この圃場では、地下水位が1.5mの深さに分布し、0～50cmの根群域は地下水より降雨や灌水の影響が大きかった。
(4)地下水深が40～50cmの高地下水位圃場では、土性に関係なく強度の土壌塩類集積がみられた。
(5)地下水の塩類化機構について検討した結果、灌水区の排水の水質は無灌水区より高濃度であり、しかも灌漑水より高濃度で変化した。灌漑水量２倍区は１倍灌水量区に比べて低濃度であり、地下水の二次的塩類化が推定される。
４.牧農村計画
(1)牧農家の実態調査
　1991年、本地域の牧農村のうち、研究センターを内包する伊克昭盟烏審旗図克蘇木地方を対象にして牧農家の実態調査を試みた。図克蘇木地方から任意に61戸の牧農家が抽出され、アンケート調査が行われた。調査結果のうち、図克蘇木の土地面積、人口を表７、土地利用状況を表８、家畜数を表９、純収益を表１０に示す。ここでは比較検討のため、アンケート調査の牧農家以外に、12戸の篤農家、モデルファーム及びモデルファーム経営の牧農家について、それらの経営状況を示した。篤農家の生産基盤と経営基盤を表１１と表１２に示す。

表４　毛鳥素砂漠における作物別日蒸発散量（日ET）の推定

項目＼灌漑期間		4月	5月	6月	7月	8月	9月	計
小型蒸発計の月蒸発量（1/2確率年）		268.2	371.7	372.0	309.5	239.5	172.1	1733.0mm
トマト	作物係数		0.35	0.60	1.00	0.88		
	月ET（mm）		78.06	133.90	185.70	126.46		524.12mm
	日ET（mm/日）		2.52	4.46	5.99	4.08		(250～500mm)
ブドウ	作物係数		0.45	0.70	0.85	0.90	0.85	
	月ET（mm）		100.36	223.20	185.70	143.70	103.26	756.22mm
	日ET（mm/日）		3.24	7.44	5.99	4.64	3.44	(450～900mm)
アルファルファ	作物係数	0.80	0.85	0.90	0.95	0.95	0.85	
	月ET（mm）	128.74	189.57	200.88	176.42	136.52	87.77	919.90mm
	日ET（mm/日）	4.29	6.12	6.70	5.69	4.40	2.93	(600～1500mm)

（ ）FAOの概算値

表５　一牧農家当りの植物の水消費量

土地利用	作物	植林面積	期間	消費水量
草地	牧草	27.0ha	4～9月	900mm　243×10³㎥
農地	ヤサイ類	0.6	5～8月	500　3×10³
	果樹（ブドウ）	0.6	5～9月	750　4.5×10³
林地	高木	21.0	4～9月	1000　210×10³
計		49.2ha		460.5×10³＝936mm／年＝2.56mm／日

表６　一牧農家当りの人間・家畜の水消費量

	原単位	使用水量
一家族（６人）	40ℓ／日・人	40ℓ×６人×365＝87.6㎥
羊150匹	13ℓ／日・匹	13ℓ×150匹×365＝711.8㎥
計		799.4㎥＝80mm／年＝0.22mm／日（1ha当り）

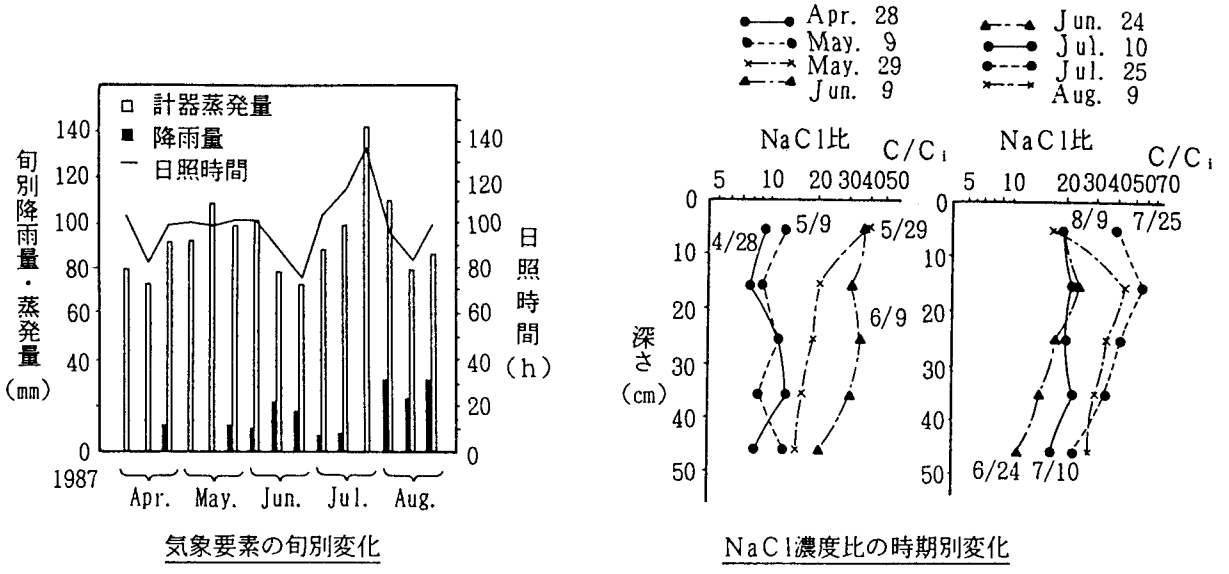


図１２　毛烏素沙地研究センター柳苗試験区における土壌中の塩類プロフィルの時期別変化

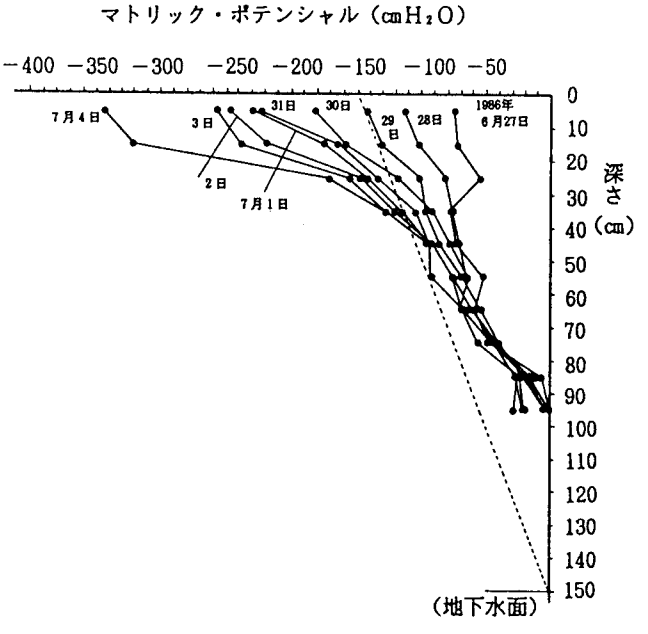


図１３　毛烏素沙地研究センターの柳苗試験区における地下水面上のマトリック・ポテンシャルのプロフィル
（1986年６月27日～７月４日）

表７　図克蘇木の人口、土地面積

世帯数							土地面積	
総人口	男	女	牧畜業	農業	役人	その他	総面積	一戸当り
3,965人	2,029人	1,936人	848戸	41戸	66戸	7戸	109,580ha	113ha

表８　一牧農家当りの土地利用状況

	総面積	草地	畑地	林地	建物・砂地	
アンケート農家	95.0ha	26.0ha	0.8ha	16.5ha	51.7ha	
篤農家	109.7	45.3			64.4	
モデルファーム	66.0*	24.0	11.0	21.0	10.0	—
モデル農家	50.2*	27.0	1.2	21.0	1.0	—

＊ 砂地を除く生産規模の面積を示す。

表９　一牧農家当りの家畜数

	羊	山羊	ラバ	馬	牛	豚	鶏	兎
図克蘇木	73.2			3.4		—	—	—
アンケート農家	86.0	13.5	0.8	1.6	3.6	—	—	—
モデルファーム	133	—	—	—	—	9	179	42

表１０　一牧農家当りの年間粗収入と一人当りの純収入

	牧畜	農業	林業	他の農業収入	農外収入	総粗収入	一人当りの純収入
図克蘇木	3,616	186	52	—	806	4,659	640（4:1人家族）
アンケート農家	2,699	817	11	272	547	4,346	696（5.3人家族）
篤農家	3,152	1,817	471	1,567	—	6,968	1,255（4.7人家族）
モデル農家	7,937	3,162	1,000	—	440	12,539	1,190（6人家族）

表１１　モデル牧農家の生産基盤（1991年）

名　前	総土地面積 (ha)	総砂地面積 (ha)	治砂面積 1983-91年 (ha)	治砂面積率 (%)	年間枝葉収穫量 (kg)
A	166.7	149.2	90.0	60.3	4000
B	124.2	97.0	53.3	55.0	6000
C	108.0	86.6	28.4	32.8	3000
D	133.3	96.8	83.5	86.2	10000
E	80.0	46.5	34.3	73.8	5000
F	78.0	70.9	34.7	48.9	12000
G	83.3	94.2	42.5	45.1	4100
H	166.7	133.1	40.7	30.6	4500
I	127.7	45.2	24.2	53.5	5000
J	61.5	43.4	28.1	64.8	7500
K	106.7	90.7	38.5	42.4	5000
L	80.0	91.5	45.5	49.8	6000
合　計	1316.1	1045.2	543.7	52.0	72100
平　均	109.7		45.3		6008.3

表１２　モデル牧農家の経営基盤（1991年）

名前	家族数 (人)	牧畜収入 (元)	牧畜支出 (元)	農業収入 (元)	農業支出 (元)	林業収入 (元)	林業支出 (元)	その他収入 (元)	総収入 (元)	総支出 (元)	純収入 (元)	一人当りの純収入 (元)
A	5	3600.00	1400.00	789.00	405.00	1500.00		1400.00	7289.00	1805.00	5484.00	1096.80
B	5	3755.80	650.00	1768.00	730.00	320.00	25.00	600.00	6443.80	1405.00	5038.80	1007.76
C	7	4160.00	1475.00	1129.50	250.00	370.00		4300.00	9959.50	1725.00	8234.50	1176.36
D	5	4394.60	1700.00	2070.00	479.00	450.00		965.00	7879.60	2179.00	5700.60	1140.12
E	4	2295.10	1350.00	2545.00	389.10	315.00		1600.00	6755.00	1739.10	5015.90	1253.98
F	2	2036.50	1400.00	2967.50	468.00	480.00		1010.00	6494.00	1868.00	4626.00	2313.00
G	4	2975.00	1410.00	1865.00	532.00	250.00		930.00	6020.00	1942.00	4078.00	1019.50
H	5	3665.00	1500.00	1541.50	256.00	225.00		2000.00	7431.50	1756.00	5675.50	1135.10
I	7	2653.00	950.00	2028.00	426.00	270.00		1680.00	6631.00	1376.00	5255.00	750.71
J	2	3028.50	1600.00	2369.00	564.00	505.00	280.00	1320.00	7222.50	2444.00	4778.50	2389.25
K	5	2950.00	900.00	1635.00	484.50			2120.00	6705.00	1384.50	5320.50	1064.10
L	5	2310.00	900.00	1097.50	310.00	500.00		880.00	4787.50	1210.00	3577.50	715.50
合計	56	37823.40	15235.00	21805.00	5293.60	5185.00	305.00	18805.00	83618.40	20833.60	62784.80	15062.18
平均	4.7	3151.95	1269.58	1817.08	441.13	471.36		1567.08	6968.20	1736.13	5232.07	1255.18

一元＝25円

(2)モデル牧農場の建設

研究センターの役割は、1982年～1990年の間、前述のように治砂、緑化、多種経営に関する開発技術の確立と、それらの技術の牧農民への教育・普及が中心であった。従来における本研究センターの成果は大きく、治砂・緑化の場合、地域によって地表面緑化（被覆）率が当初の15～20%から現在の40～50%まで増加した。1991年、周辺の自然環境特性と社会環境特性等を考慮して、研究センター試験地の一角にモデルファームが新設された（前出図７参照）。

モデルファームの生産基盤は、各牧農家の土地利用の形態（治砂・防風林地、草地、樹園地、居住地等）と構造（各地目の面積と配置、井戸及び用水路の配置と機能等）から検討した。その生産規模は66.2haであり、農業（ハクサイ、トウモロコシ、牧草の栽培と緑化植物の育苗等）と畜産（羊、豚、鶏、兎）経営が中心になった。植物栽培は灌漑農地で、豚、鶏、兎の飼育は畜舎で、羊の場合はフェンスで囲まれた草地で行われた。

(3)モデルファームの経営

モデルファームでは、ヤサイ、果樹、乳、卵肉類の消費地として製塩工場と石油開発センターが最寄りにある。また、保存性の高い、乳製品、羊毛、革、木材等は烏審旗、東勝市等へ流通機構が整備されている。特に東勝市のカシミア工場では、本地域で産出される原料が用いられる。モデルファームの経営目標は、畜産業を中心にした農業と林業の確立にある。

モデルファームにおける1991年の実績をベースにして、モデルファーム経営牧農家における農林業と畜産業の経営予測を試みた。この経営予測によれば、一家族当たりの所得状態は、６人家族において、一人当たり1,190元の所得が見込まれた。これは、本地域の平均的牧農家に比べて２倍以上の所得増になる(前出表１０参照)。

これらの結果から、牧畜を中心とした計画的経営、安定した収入が得られるような多種経営（農業、林業）を振興すれば、全国水準に達することが推定される。

(4)持続的な牧農村計画

図１４は、牧農村計画の立場から、生産基盤の水利用について概念的に想定したものである。生産基盤のうち、防護林と草地の一部は主として降雨依存型になる。高木類の防護林育成や牧草の多収穫栽培では、降雨だけで不十分で地下水の利用が必要になる。また灌漑農地、人間、家畜は地下水依存型になる。

牧農業社会においては、地下水源の枯渇対策として地下水涵養、排水対策等が必要とされる。地下水涵養では、一戸のモデル牧農家の水消費量に対し、

生産規模の2.4倍程度の裸地が必要となる[9)]。排水対策としては、自由面地下水の用排水を分離する必要があり、地下ダム、塩湖等を想定した広域潅排システムを検討することが重要であろう。

総合社会になると、塩湖で生産される塩類の化学産業、本地域に豊富に埋蔵してる石炭の関連産業、エネルギー産業等の発達が推定される。生産基盤の生産性を高めるためには、石炭灰、泥炭、化成肥料等の積極的適用が考えられよう。本地域のエネルギー産業では、石炭への依存度が極めて高いが、同時に自然エネルギーを利用した分散型エネルギー源の開発が提案されよう。

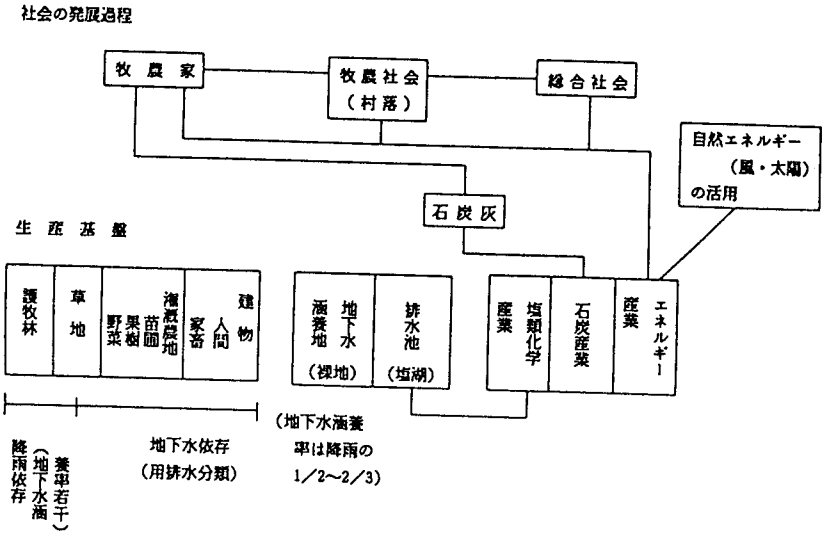


図１４　毛烏素砂漠における牧農村計画と生産基盤の概念図

Ⅴ.あとがき

研究センターのモデルファームは1991年に姚　洪林、基　労氏等により建設され、現在保全管理されている。今後、砂漠化との関連性を考慮した長期的視野で、牧農家→牧農業社会→総合社会への持続的開発に向かって、モデルファームは新しい役割を担っている。

ここでは、毛烏素砂漠を対象とした日中共同研究のうち、主として治砂、緑化、気象、灌漑、地下水保全、農村計画等の研究成果について紹介した。これらは、農地保全研究部会における現在の主要課題といえないかもしれないが、今後積極的に取り上げていただきたい乾燥地開発の研究課題と考えられる。

引用文献

1)神近牧男・山本太平・小橋澄治：中国の乾燥地における沙漠化の機構解明と動態解析（予備調査）－特に毛烏素沙漠についてー、トヨタ財団助成研究報告書(1985)
2)内蒙古沙漠開発研究会：中国の乾燥地における沙漠化の機構解明と動態解析－毛烏素沙漠の沙漠緑化と農業開発に関する基礎的研究ー、トヨタ財団助成研究報告書(1989)
3)内蒙古沙漠開発研究会：中国の乾燥地における沙漠化防止に関する実証的研究－毛烏素沙漠におけるモデル牧農場の建設に向けてー、トヨタ財団助成研究報告書(1992)
4)中島健一：灌漑農法と社会＝政治体制、校倉書房(1983)
5)中国科学院蘭州沙漠研究所編：1:400万中華人民共和国沙漠図、地図出版社(1979)
6)中国沙漠概論、科学出版社(1974)
7)何　環：中国の水資源概況と対策、第４回水資源に関するシンポジウム（特別講演）、水資源シンポジウム委員会(1992)
8)中国画報：中国画報社、3/1985
9)高須俊行編：農地・農村の整備ー環境保全への工学的展開ー、土地改良技術情報センター、pp.429-446(1993)

熊本地域の地質と地下水

熊本県企画開発部　田中伸廣

1　はじめに

熊本県は、年間降水量２２８５㎜（全国平均１７４９㎜）と降水に恵まれており、また全国名水百選（環境庁）に富山県と並び最多の４箇所が選定されるなど、離島の一部地域を除き水資源には恵まれている。

特に、県中央部に位置する阿蘇火山の西外輪山とそれに続く洪積台地一帯でかん養された地下水は、全国的にもあまり例を見ないほど豊富かつ良質であり、人口６４万人を擁する県都熊本市の上水道水源をはじめ都市活動用水、工業用水、農業用水等に利用され地域の貴重な水資源となっている。

現在、熊本地域の地下水を保全するために、地下水利用の合理化対策、地下水かん養対策、地下水監視体制の整備及び代替水源の開発等の調査、検討が積極的に進められているところであるが、ここでは熊本地域の水文地質と地下水の問題について述べることにする。

2　熊本地域の水文地質

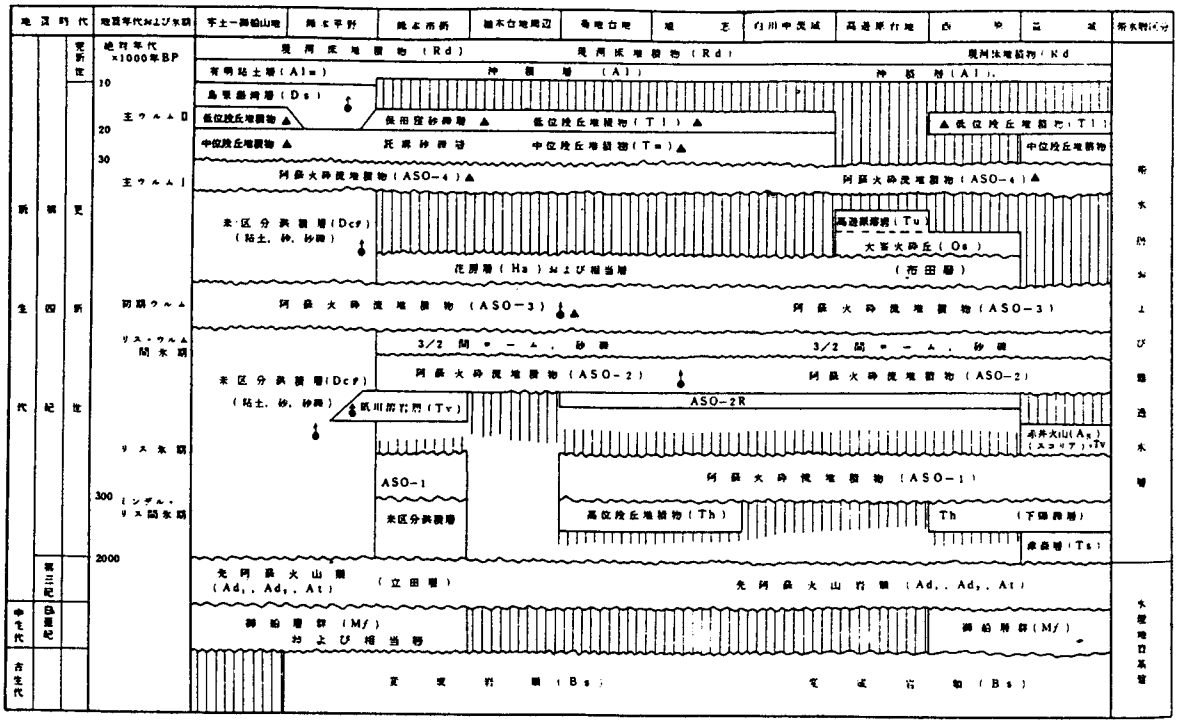
本地域の水文地質は、地下水の入れ物である地下水盆をつくっている「御船層群」や「先阿蘇火山岩類」等の基盤岩類と、その中の地下水を含む地層である帯水層とに分けられる（表－１）。

地下水盆をつくる基盤岩類は、阿蘇外輪山から右回りに益城、御船山地、雁回山、宇土半島、金峰山と、菊池台地から熊本平野にかけての地域をぐるりと取り囲む山地と、託麻の小山山、戸島山から北西方向に植木の岩野山にかけての小さな孤立丘がこれにあたる（図－１）。

この大きな地下水盆の中に小さい凹地（小地下水盆）があるが、特に

植木台地、白川中流域、木山川筋に明瞭な地下水盆の存在が地質構造調査から明らかになっている。

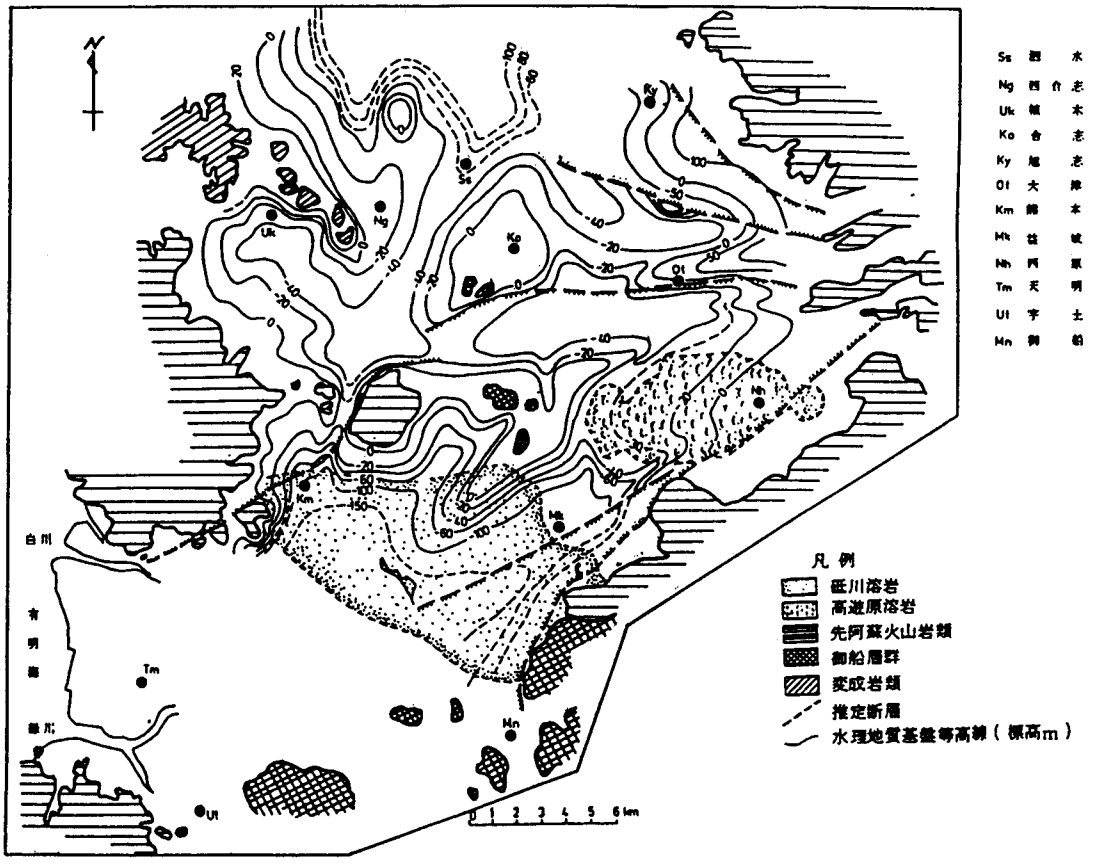
表－１　熊本地域地質層序総括表



地下水が含まれる主要な帯水層は、主に菊池台地、植木台地、託麻台地等から熊本平野の地域に分布している「阿蘇火砕流堆積物」、「砥川溶岩層」、「未区分洪積層」、「島原海湾層」等であるが、台地の上に比較的薄く分布する「段丘堆積層」も、浅層の主要な帯水層となっている。

ここで、阿蘇火砕流堆積物について少し触れると、この地層は阿蘇カルデラの形成に関与した火山活動による噴出物であり、古いほうから大きく、Ａｓｏ－１、Ａｓｏ－２、Ａｓｏ－３、Ａｓｏ－４の４つに区分される。その噴出した時期は、およそ３６万年前のＡｓｏ－１の活動に始まり、７～８万年前（少なくとも４万年前）に活動が終了して、現在

の阿蘇カルデラが形成されたと考えられている（渡辺、１９８４）。



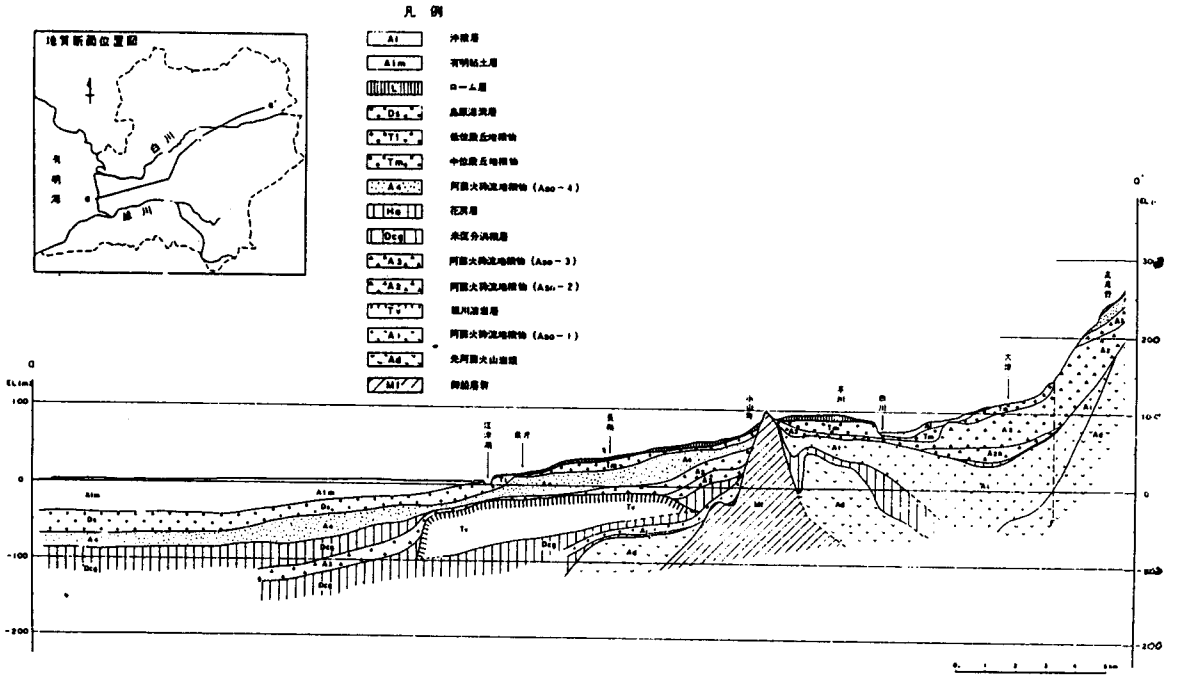
図－１ 水理地質基盤構造図

3　帯水層区分と地下水流動

熊本地域の地下水は、大きくみて比較的浅いところに見られる第１帯水層と、深層の第２帯水層とに分けることができる。

第１帯水層は、段丘砂礫層、島原海湾層及びＡｓｏ－４火砕流堆積物等からなる浅層の帯水層で、地表より数mから２０m程度の深さに水位があり、台地部においてはほぼ地形に沿って流動し、託麻台地の末端にあたる水前寺、江津湖等の保田窪面の段丘崖等では、砂礫層中から湧水として流出している（図－２）。江津湖周辺では、地下水位は標高４～８m程度である。特に、水前寺公園から江津湖周辺にかけての地域に沿

って地下水位は低く、湧水地への地下水流出を示している。



図－２ 地質断面図

第２帯水層は、一般的には上部の地層により被圧化しており段丘、丘陵部ではＡｓｏ－３以下の火砕流堆積物とその火砕流間堆積物とから構成される。特に、普通輝石安山岩よりなる砥川溶岩は、多孔質で割れ目の多い岩質なので極めて透水性の良い帯水層となっており、熊本市東部の江津湖から嘉島町井寺周辺では一大有能帯水層を形成している。

また、平野部では、島原海湾層よりも下位の未区分洪積層が第２帯水層を構成している。

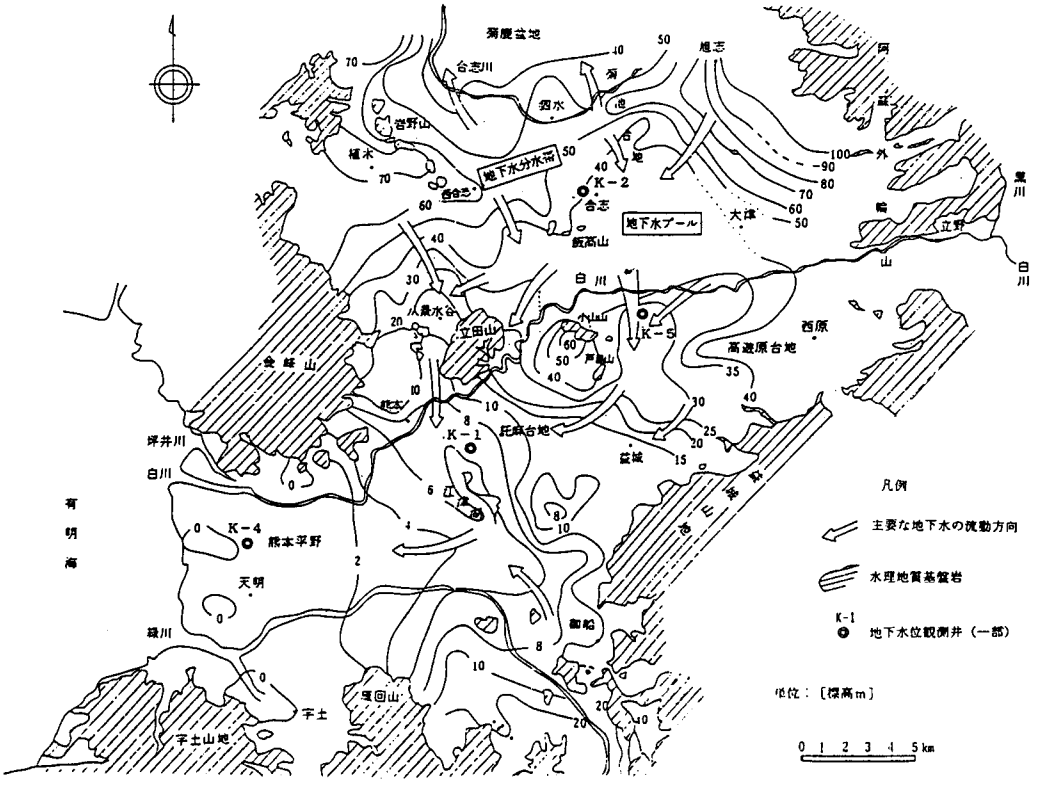
熊本地域では、帯水層の規模及び能力とその利用の実態から、第２帯水層が主要帯水層となっている。

この第２帯水層の地下水は、旭志、大津付近の阿蘇外輪山西麓台地でかん養され、これから南の託麻台地を通り、江津湖周辺で西に方向を変えながら熊本平野を経て有明海に至る（図－３）。

しかし、第１帯水層の流動とは異なり、必ずしも地形に沿ってはいない。また、図－３の地下水位等高線図を見てみると、旭志から泗水、植

木にかけての地区では、標高５０～６０ｍの高水位域が帯状に形成されている。そしてこの地区を境として北側（菊鹿盆地方向）と南側（熊本平野方向）の地下水位は、標高５０ｍ以下である。

従って、この一帯を境、つまり「地下水分水帯」として地下水は南側と北側に分かれて流動すると考えられる。もちろん、この地下水分水帯は固定したものでなく、揚水条件やかん養条件の変化によっては季節的あるいは経年的に、地下水面の標高（水位）が上下したり、位置的にも南北へ移動する。



図－３　熊本周辺地域における主要深層地下水の流動図（昭和59年10月測水）
（第２帯水層）

また、この分水帯及び山地、丘陵部から南部方向へ流動する地下水の水面勾配は、概ね 5/1,000～10/1,000である。

しかし、合志、大津、菊陽等の白川中流域の小地下水盆の位置する範囲では、水面勾配が 1/1,000と非常に緩やかである。

これは孤立丘として地表に露出した群山、飯高山～小山山、戸島山等の水文地質学的基盤岩が、一時的に地下水の流れをさえぎるためと思われる。その結果、小地下水盆の範囲で地下水が貯留され、いわば「地下水プール」を形成すると見ることができる。

さらに、この地下水プールの存在は、水文地質学的基盤岩上面の形状の他に、帯水層の透水性及び地表からの浸透性が、この地区で特に大きいことも要因としてあげられる。

4　地下水位の変動

熊本地域においては、第２帯水層を主な対象とする地下水位観測井が、熊本県、熊本市、建設省、農水省等の関係機関によって昭和５０年代の初め頃より設置され、観測が継続されている。

これによると、熊本地域の台地部の地下水位は毎年梅雨の時期の６月から７月初め頃にかけて最も低く、秋口の１０月から１１月初めにかけて最も高くなる（図－４）。

この季節的変動は、ほぼ全域に共通しているが、地区により変動パターンに差異がある。特に、台地中央部の地下水プールとした範囲では、地下水位の変動時期が他の地区より0.5ヵ月ほど早く、また年間の変動幅も５ｍ以上（最大１０数ｍ）と大きいことで特徴づけられる。

これらのことから、地下水位はこの地区を中心に変動し、その変動が託麻台地から江津湖等の周辺部に広がっていくと見ることができる。

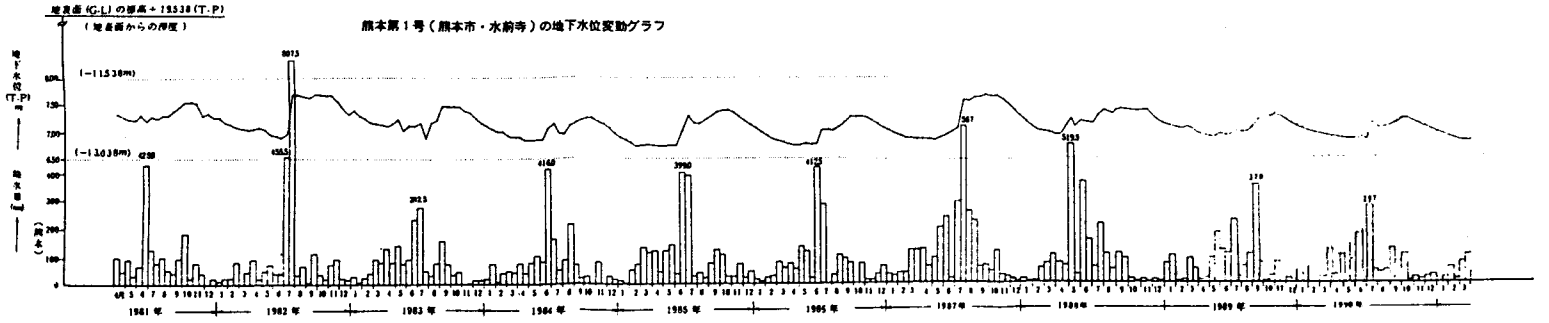
その要因として、白川沿いの水田や水路からのかんがい水が大きな役割を果たしていると考えられる。

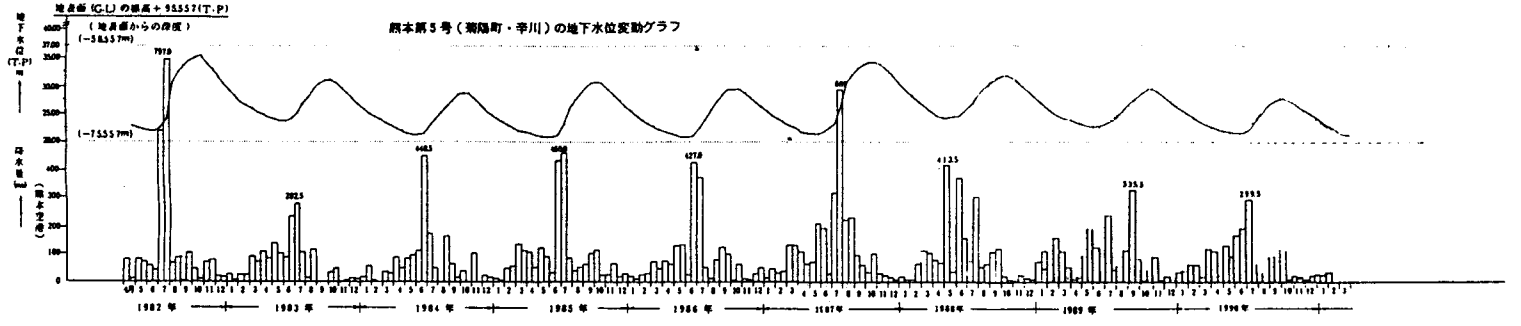
全体的に地下水位の変動幅は、この地区から遠いほど小さくなる傾向にある。

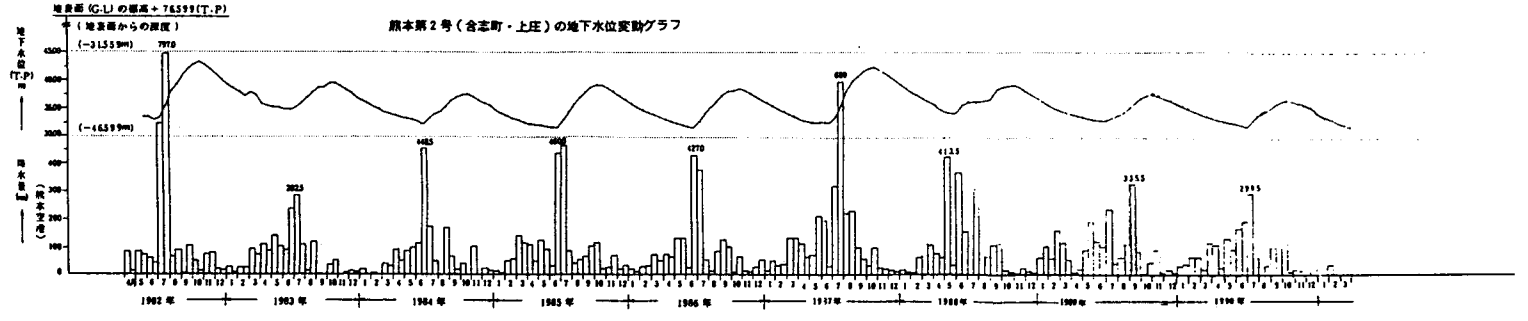
また、地下水流動の下流部にあたり海岸部に近い熊本平野の低地部では、揚水の影響を受けて地下水位は夏季に低く、冬季～春季にかけて高い。その変動幅は、揚水等の状況によって異なるが２～３ｍである。

地下水位の長期変動については、地下水位変動グラフからもわかるよ

図－4 地下水位変動グラフ（熊本地域）







うに、降雨等の気象条件に大きく左右されていると言える。

従って、短期間の観測結果から第２帯水層（深層）の地下水位が連続的に低下傾向にあるとは判断しかねるところである。

また、第１帯水層（浅層）の地下水については、湧水量の減少等の現象面に見られるように、地下水位も若干低下傾向にあると考えられる。

しかし、これは気象や地下水採取の状況、地下土木工事等、自然的、人為的条件によって大きく影響されるので、水位変動の詳細な解析は、いろんな変動要因の影響を検討するとともに、もう少し長期にわたる地下水位観測結果を待つ必要があろう。

5　湧水量

熊本地域には、水前寺・江津湖（熊本市）や浮島（嘉島町）に代表されるような大きな湧水が多数ある。

明治の文豪夏目漱石先生は、五高（現在の熊本大学）教授として在熊の折、次のような俳句を残しておられる。

〝湧くからに　流るるからに　春の水〟

これは、水前寺や江津湖に遊ばれたときに、清冽で豊富に湧き出ずる湧水と、その周囲の優れた自然環境に感動して詠まれたものであろう。

県と熊本市が、昭和５９年１０月と６０年５月に実施した湧水量観測調査で、この地域の湧水の実態も初めて明らかにされた（表－２）。

これによると、水前寺・江津湖周辺の地下水湧水量の合計は、昭和５９年１０月の高水位期では、７．２２㎥／ｓ（６２．４万㎥／ｄ）、低水位期の６０年５月では４．４６㎥／ｓ（３８．５万㎥／ｄ）と観測されたが、これから年間湧水量の合計は１９４百万㎥／ｙと推計される。

この湧出機構としては、台地末端の段丘崖の砂礫層からの浅層の湧水とともに、深層の砥川溶岩の亀裂中からの地下水が湧出するものと考えられる。

また、浮島・下六嘉等の矢形川周辺でも大量の湧水が見られ、高水位期、低水位期それぞれ７．３２㎥／ｓ（６３．２万㎥／ｄ）、５．５５

㎥／ｓ（４８．０万㎥／ｄ）と観測され、年間湧水量も２３９百万㎥／ｙと推計される。

表－２　湧水量測定結果

湧水地(域)名	時　期	測定年月日(時刻)	湧　水　量	摘　　要
水前寺及び江津湖周辺	秋　口	S 59. 10. 31 (5:00)	7.22㎥／s (日量換算 624万㎥／日)	左のうち、水前寺公園　0.45㎥／s (同 3.9 万㎥／日)
	梅雨前	S 60. 5. 18 (5:00)	4.46㎥／s (日量換算 385万㎥／日)	左のうち、水前寺公園　0.23㎥／s (同 1.9 万㎥／日)
八景水谷周辺	秋　口	S 59. 10. 29 (5:00)	0.23㎥／s (日量換算　2.0 万㎥／日)	
	梅雨前	S 60. 5. 26 (5:00)	0.05㎥／s (日量換算　0.4 万㎥／日)	
矢形川及びその周辺	秋　口	S 60. 11. 9 (15:00)	7.32㎥／s (日量換算 63.2 万㎥／日)	左の内訳　浮島 2.01㎥／s (同 17.4万㎥／日) 下六嘉 2.71㎥／s (同 23.4万㎥／日) 矢形川河床 2.60㎥／s (同 22.5万㎥／日)
	梅雨前	S 60. 5. 18 (15:00)	5.55㎥／s (日量換算 480万㎥／日)	左の内訳　浮島 1.30㎥／s (同 11.2万㎥／日) 下六嘉 1.88㎥／s (同 16.2万㎥／日) 矢形川河床 2.37㎥／s (同 20.5万㎥／日)
轟湧泉	夏　季	S 60. 7. 20 (11:00)	0.07㎥／s (日量換算　0.6 万㎥／日)	名水百選

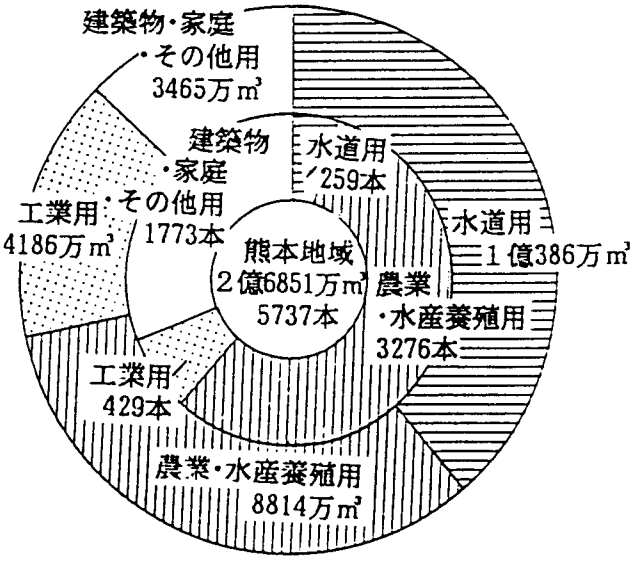
この他、熊本地域には八景水谷、潮井、赤井、轟等の数多くの湧水が見られ、これらを含めた地域全体の湧水量の合計は、昭和５８年時点で年間約４．４３億㎥／ｙと推計されるなど、まだ豊かな湧水環境を形成している。このことは、熊本市（人口約６４万人）の年間上水道配水量実績の８，８１１万㎥／ｙ（平成３年度）と比較してみても、莫大な水量といえる。

6　地下水の利用状況

熊本地域の地下水の利用状況は、昭和５８年度時点で総計５，７３７本の井戸があり、２億６，８５１万㎥／ｙの地下水採取が行われた（図－５）。市町村別では、熊本市が３，１２４本（全体の５４．５％）の井戸で１億３，９９０万㎥／ｙと約半分を占め、次いで植木町（１，７

９３万㎥／ｙ）、合志町（１，３８６万㎥／ｙ）の順となる。

用途別では、水道用が１億３８６万㎥／ｙ（全採取量の３８．７％）と最も多く、次いで農業、水産養殖用８，８１４万㎥／ｙ（同３２．８％）、工業用４，１８６万㎥／ｙ（同１５．６％）、建築物、家庭、その他用３，４６５万㎥／ｙ（同１２．９％）の順となる。



図－５ 用途別地下水利用状況

（昭和58年度）

熊本市についてみると、水道用が７，９３５万㎥／ｙ（市採取量の５６．７％、地域全体の２９．６％）と最も多く、次いで建築物、家庭、その他用２，３４４万㎥／ｙ（同１６．８％）、工業用１，９８６万㎥／ｙ（同１４．２％）、農業、水産養殖用１，７２５万㎥／ｙ（同１２．３％）となり、特徴的に水道用水としての利用が進んでいる。

経年的には、最近の、行政や住民、企業等の節水や合理的な水利用の努力、取り組みにより全体で、年間２億数千万㎥／ｙ程度の地下水利用に落ち着いているが、用途や利用割合などの基本的なことは以前と変わっていない。

7　土地利用の変化

地下水の保全・開発等の問題を考える場合の要素としては、地下水利用（揚水）の問題だけでなく、土地利用の変化も地下水に影響する。

特に、水田や畑地、林地等の雨水が地下浸透しやすいかん養域が減少し、市街地、工場、住宅地等の非かん養域が増加することによって、地表からの地下水かん養量が減少すれば、地下水位の低下や湧水量の減少につながる。

そこで過去の土地利用の変化を、空中写真の判読により、かん養域と非かん養域に分けて計量化した（表－３）。

表－３　土地利用項目別面積及び比率

		※昭和４０年頃		※昭和５０年頃		※昭和５８年頃		※平成３年頃		平成３年頃	
		面積・㎢	比率・%	面積・㎢	比率・%	面積・㎢	比率・%	面積・㎢	比率・%	面積・㎢	比率・%
かん養域	水田	260.73	25.9	264.25	26.2	254.54	25.3	235.19	23.4	236.56	22.7
	畑地	238.68	23.7	208.91	20.8	191.28	19.0	187.75	18.6	202.28	19.4
	草地	64.90	6.5	72.47	7.2	52.40	5.2	58.32	5.8	58.42	5.6
	林地	336.47	33.4	312.91	31.1	329.03	32.6	317.63	31.5	332.42	31.9
	水域	15.53	1.5	15.30	1.5	16.10	1.6	14.32	1.4	14.62	1.4
	小計	916.31	91.0	873.84	86.8	843.35	83.7	813.21	80.7	844.30	81.0
非かん養域	市街地	25.97	2.6	54.75	5.4	71.97	7.2	75.51	7.5	75.76	7.3
	宅地	58.72	5.8	67.33	6.7	75.30	7.5	97.36	9.7	99.74	9.6
	その他	6.22	0.6	11.30	1.1	16.60	1.6	21.14	2.1	21.37	2.1
	小計	90.91	9.0	133.38	13.2	163.87	16.3	194.01	19.3	196.87	19.0
合計		1,007.22	100.0	1,007.22	100.0	1,007.22	100.0	1,007.22	100.0	1,041.17	100.0

注）※欄は、旧河内町を除く。

これによると、非かん養域の面積は、昭和４０年頃には９０．９１㎢（調査地域全体の９．０%）あったものが、昭和５８年頃には１６３．８７㎢（同１０．３%）、平成３年頃には１９４．０１㎢（同１９．３%）と大幅に増加している。

これは、熊本市街地の拡大に伴う周辺部の開発によるもので、主として畑地の減少が大きい。

したがって、農地や林地の土地保全がこの地域の地下水の問題を考え

る場合の今後の課題となっている。

8　熊本地域の地下水保全の取り組み

(1)基本的な考え方

現在、関東平野や濃尾平野をはじめ日本各地で行われている法的な地下水採取の規制、節水・合理化、人工かん養、代替水源の開発等の地下水関係対策は、地下水の過剰な採取により地下水位が異常に低下し、このため塩水化や地盤沈下等の甚大な被害（公害）を惹起せしめたため、この復旧対策としての性格をもち、地下水に関する諸々の対策が講じられてきたのが現実である。

しかし、熊本の場合は少し事情を異にする。つまり、他県に比べれば、熊本地域においては地下水利用の面からは日常的に重大な支障はなく、また地下水採取に伴う障害の発生も限定的かつ軽微であると考えられる。

また、経年的な地下水位の変動状況をみても、観測期間が短いため断定的なことは言いがたいが、降雨等の自然条件に大きく左右され、少雨年には一時的に水位低下傾向をとることは認められるが、市街地部の浅層地下水を除けば、長期的には必ずしも継続的に低下傾向にあるとは認めがたいところである。

さらに、自然湧水もまだ莫大な水量が地域の各地で湧出している状況にある。

しかし、熊本地域の地下水を取り巻く将来の環境は、量的には採取量が増加する傾向にあり、また、市街地等の拡大によりかん養域が減少するなどかん養条件も悪くなる傾向にあり、地下水の水収支シミュレーション結果からも、今後若干の水位の低下や湧水量の減少等が予測されている。

つまり、このまま手をこまねいて保全対策を怠ると、他県の例に見られるような地下水資源の涸渇や地盤沈下等の進行が見られることになる。

本県では、重大なあるいは末期的な地下水障害の状況になってからの、後手の復旧対策としての地下水対策でなく、現在の地下水環境をベースにし、今の段階から危機意識を持って先手の対策として、資源的にも環境的にも地下水を保全管理することが必要であると考える。

いわゆる医療における予防医学的な概念を導入し、地下水のプライマリーケアを行おうとするもので、つまり、現在の地下水環境をこれ以上悪化させず、できれば以前の状況に好転させる方向で対策を検討し、この豊かで良質な地下水資源の適正利用を図り、熊本地域の貴重な財産として２１世紀に引き継ぐために、関係行政機関、地域住民、研究者が一体となり、地下水の監視体制の確立を図りながらこの地下水保全の問題に取り組んでいく必要がある。

これは、全国的にもあまり例のない「地下水の保全管理に関する熊本方式」とも言うべきもので、地下水の豊かな中で地下水を十分監視しながら、地下水保全について先進的かつ先手の対策を講じていくことを基本として、地下水利用合理化の推進、地下水かん養の推進、地下水監視体制の確立、地下水質の保全の推進、及び代替水源の開発等の総合的な地下水保全対策を推進していくこととしている。

⑵ビニールハウス雨水浸透モデル実験（熊本県・熊本市共同事業）

ここでは、かん養対策の一つとして検討したビニールハウス圃場雨水浸透モデル実験結果についてご紹介する。

①地域の現状

熊本地域の主なかん養地である阿蘇西麓の台地では、大半が畑地として利用されている。この地域では近年の農業形態の変化に伴い、ビニールハウス圃場が多くなり、熊本特産のスイカ、メロン等が栽培され、本県の代表的な農業地帯となっている。その反面、連棟式ハウスの屋根に降った雨水は地下へ浸透することなく直接排水路へ流出するようになり、熊本地域の地下水かん養の面からはマイナスの要因となっている。

②調査の経過と内容

調査は、熊本県と熊本市の共同事業としてＨ元～Ｈ２年度にわ

たって実施した。

実験地は、連棟式ビニールハウスが数多く分布する鹿本郡植木町と熊本市戸島町の２箇所を選定し、浸透桝による実験・調査を実施した。

浸透桝の規模としては、将来の実施を考慮して人力作業を基本に、経済性、安全性等から深さ１．５m、直径１．５m程度とし、充填材のタイプについては、一般的に入手可能な玉砂利、モミガラを選定し、さらに浸透量の比較のために素掘の３タイプとした。

主な調査項目は、次のとおりであった。

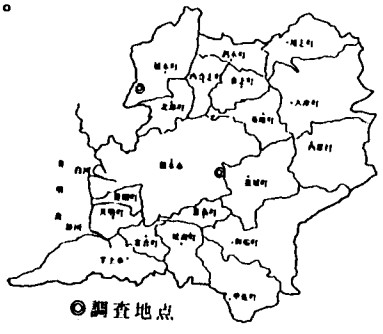
ⅰ）土質調査

ⅱ）現場注水実験による浸透量調査

ⅲ）降雨時における浸透量調査

ⅳ）営農影響調査

ⅴ）水質調査



③調査結果の概要

調査地点の土質は、火山灰質ローム（赤ボク）であった。

現場注水実験により得た実験式から、満水位（水深１m）での１時間当りの浸透量を充填タイプ別に求めると、植木実験地では素掘（No.１）２．６８㎥、玉砂利（No.２）２．６９㎥、モミガラ（No.３）２．８２㎥となり、充填材のタイプ別ではモミガラが若干浸透量が多い（表－４）。

表－４　現場注水実験による浸透量

設置場所	充填材	平成元年度		平成２年度		減少率	備考
		浸透量 ㎥/hr	換算雨量 mm/hr	浸透量 ㎥/hr	換算雨量 mm/hr		
植木	素掘	2.68	7.2	2.53	6.8	0.94	

植木	玉砂利	2.69	7.2	2.63	7.1	0.98	
	モミガラ	2.82	7.6	2.70	7.3	0.96	
戸島	モミガラ	2.67	7.2	2.53	6.8	0.95	

※換算雨量については、ビニールハウス１棟当たり（ 371㎡）の面積で算定。
※減少率は、平成２年度浸透量／平成元年度浸透量である。

これをビニールハウス（１棟約３７１㎡）の単位面積当りの時間降雨に換算すると、素掘、玉砂利タイプはそれぞれ７．２㎜、モミガラタイプでは７．６㎜であった。全体的に実験結果を見れば、浸透桝が満水位の場合でも概ね時間雨量７㎜以下の降雨量であれば、全量浸透することになり、自然降雨の発生頻度の高い時間雨量５㎜以下の降水量をかん養させることは十分可能であるという結果を得た。

このことから浸透の年間対象降水量を１，６５３㎜として、熊本地域の連棟式ビニールハウス面積約７７０ｈａを対象に考えると、年間かん養量は１２，７００千㎥と試算される。

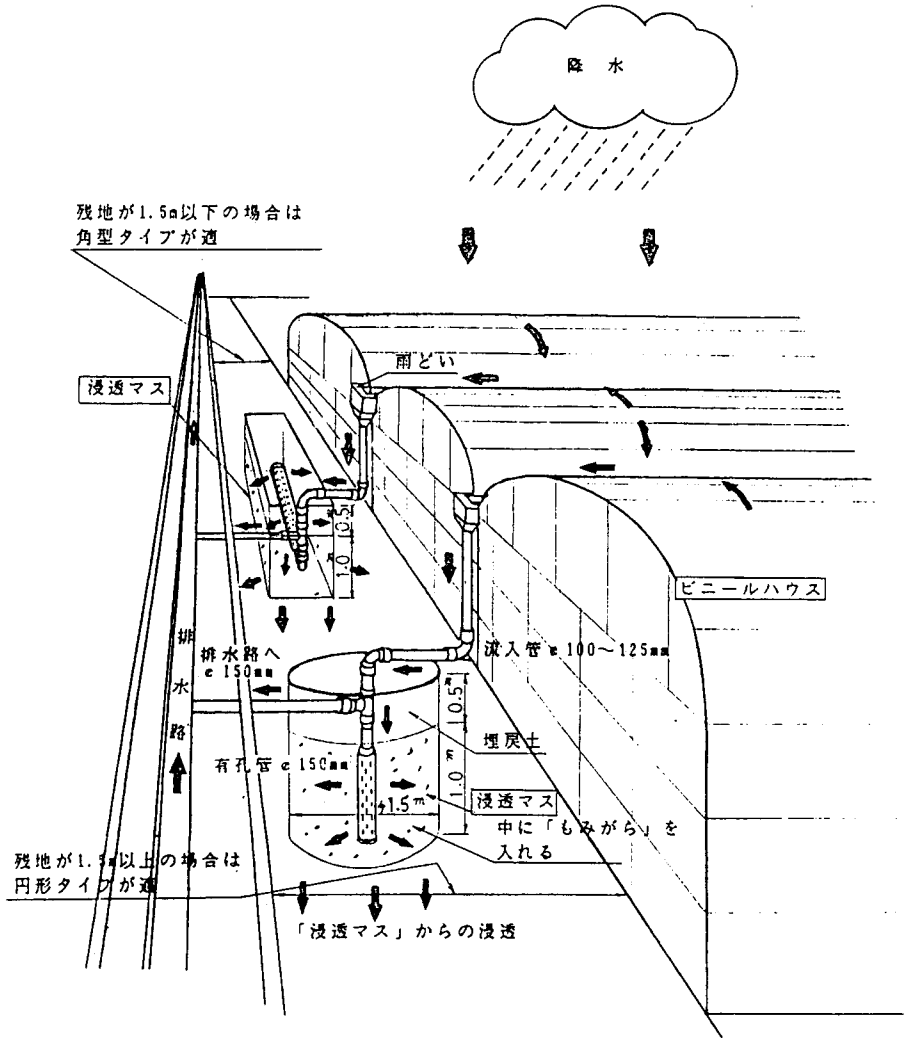
その他、営農及び農作物への影響については、浸透の湿潤線が浸透桝から１ｍ以内の範囲であり、ほとんど問題がないことが分かった。

浸透桝への流入水の水質については、人の健康に影響を与える重金属や有機塩素化合物等の有害物質はすべて不検出であった。

また、主として肥料等が汚染源と考えられる硝酸性窒素等の窒素化合物についても水道水の水質基準を満足している。

その他、亜鉛、フェノール類等の項目で一部分析値が高い場合もあるが、全体的にみて本浸透工法は地表面下１．５ｍ程度の浅い土壌での浸透であるため、慎重に進めていけばほとんど問題ないのではないかと考えている。

このため、平成３年度には地域内の５市町村にモデル施設を設置するとともに、今後畑地の雨水排水処理の問題も含めてハウス


降　水
残地が1.5m以下の場合は
角型タイプが適
浸透マス
雨どい
ビニールハウス
排水路へ
φ150mm
流入管 φ100～125mm
埋戻土
有孔管 φ150mm
浸透マス
中に「もみがら」を
入れる
残地が1.5m以上の場合は
円形タイプが適
「浸透マス」からの浸透

図－6　浸透マスの仕組み

農家の理解を得ながら普及の施策を進めていくこととしている。

9　おわりに

地下水の問題は、地下水の流動や賦存機構をふまえた一つの地下水盆（域）としての広域的な取り組みが望まれる。

そして、地下水の変化を監視しながら節水・合理化やかん養対策等を総合的にしかも着実に進めていく必要がある。

その中でも、とりわけ水田、畑地、草地等の農地、それに林地等のかん養域の土地保全が重要で、農林業の果たす役割は大きいものがある。

しかし近年の産業、経済の目覚ましい発展・変化により、これらの地域には大きな開発の波が押し寄せてきている。

今後は、農業土木においても農地防災等のハード面の対策、研究とともに、地域開発と農地・林地の保全（つまり自然環境や地下水の保全等）をどう調和させていくか、といったソフト面も踏まえた取り組みも大事でないかと考えるところである。

参考文献

⑴熊本県・熊本市（昭和６１年３月）：熊本地域地下水調査報告書　ｐ１～８６

⑵熊本県企画開発部・熊本市保健衛生局（平成３年２月）：平成２年度畑面雨水浸透モデル実験報告書（ビニールハウスかん養工法）　ｐ１～２０

⑶匪根勇・島野安雄・田中伸廣（１９８７）：阿蘇西麓台地における地下水流動系，ハイドロロジー（日本水文科学会誌）ｖｏｌ．１７，№２，ｐ１１１～１２０

⑷田中伸廣（１９９２年４月）：熊本の地下水ー豊かさと清らかさを保つには，日本地質学会第９９年学術大会討論会講演要旨，ｐ８～９

リル網形態の数量化およびその発達過程の数理モデル

山口大学 農学部　深田 三夫　日下 達朗

Ⅰ．まえがき

リル侵食は土壌侵食の中で大きなウエイトを占め，リルの発達過程におけるその形態は自然のおりなす幾何学模様の一つとしても興味深い．ここでは，人工降雨を用いた斜面侵食実験の結果を中心とした報告を行い，さらにリル形態の数量化方法およびリル侵食のシミュレーションの可能性について述べる．

次の第Ⅱ章では，流出水や流出土量の時間変化，リルの形態変化とくに平面形態の時間変化についての実験結果を述べる．

第Ⅲ章では，フラクタル次元や波形（フーリエ）解析の手法によりリルの平面形態を数量化する試みについて述べる．

第Ⅳ章では，平面形態，三次元形態や流出土砂量の経時変化の特性を再現できるようなシミュレーションの方法を紹介する．

Ⅱ．リルの発達過程に関する斜面侵食実験[1, 2, 3)]

２・１　実験目的

造成地の法面など，比較的急勾配な斜面を対象として人工降雨による斜面侵食実験を行い，斜面上のリル形態の時間変化を追うとともに，形態の変化が傾斜角や流出水などとどの様に関係しているかを把握する．また，越流水のみを与えた実験（以後フロー実験と呼ぶ）も行い降雨によってできるリルとの比較も行った．

２・２　実験装置

幅2.4m，長さ5.45m，最上部の深さ1.6mの模擬斜面を野外につくり，斜面勾配を５°，10°，15°の３通りに設定した．降雨装置として，高さ4.7mの位置に散水ノズルを６ヶ所設置して散水を行った．フロー実験の場合は，斜面上流端に堰を設け，均等に越流させた．また，斜面下端部には土砂採取箱を設けた．なお，模擬斜面からの流出水量は土砂採取箱の下端に設置した三角堰によって測定した．実験に用いた試料土は山口県宇部市近郊のまさ土を使用した．

２・３　測定方法

実験斜面は，まさ土を敷き詰めた後に硬度約15mmに締め固めた．降雨実験では，散水ノズルからいっせいに散水を開始した後，流出水量，流出土砂量，侵食された斜面の平面形態と，横断面形態を一定時間おきに測定した．フロー実験でも同様の測定を行った．流出水量の測定は，ポイントゲージによって三角堰の水位を測定し流量に換算した．流出土砂量は，一定時間毎に土砂採取箱に貯った土砂を採取しその全湿潤土砂量を測定した．さらに，斜面勾配が５°の場合には全土砂を炉乾燥し，10°，15°の場合にはその一部を取り出して含水比を求め全乾燥土量に換算した．また，炉乾燥した乾燥土砂を4.76，2.38，1.68，1.19，0.59，0.297，0.149mmのふるいでふるい分けることにより粒径分布を調べた．

斜面に発生したリルの平面形態の観測は，高さ8.5mの位置に設置したカメラで一定時間おきに撮影し，その写真からリルの外縁部の座標をデジタイザでトレースして入力し数値化した．

２・４　実験結果

１）流出水量と流出土砂量

Fig.2.1は，斜面勾配が５°，10°，15°とフローの場合の斜面流出水量の経時変化を示した図である．斜面への給水量別にデータを整理した．給水直後は，流水は斜面表面に浸透し土は飽和状態になる．そして，その浸透能に勝る流水が表面流として流出されるため，時間遅れをともない徐々に一定になる．流出水量は時間経過にともない安定し，傾斜が急になるほど安定するのが早いことがわかる．これは，勾配が急なほど重力の浸透方向成分より流出方向成分が大きくなるためである．

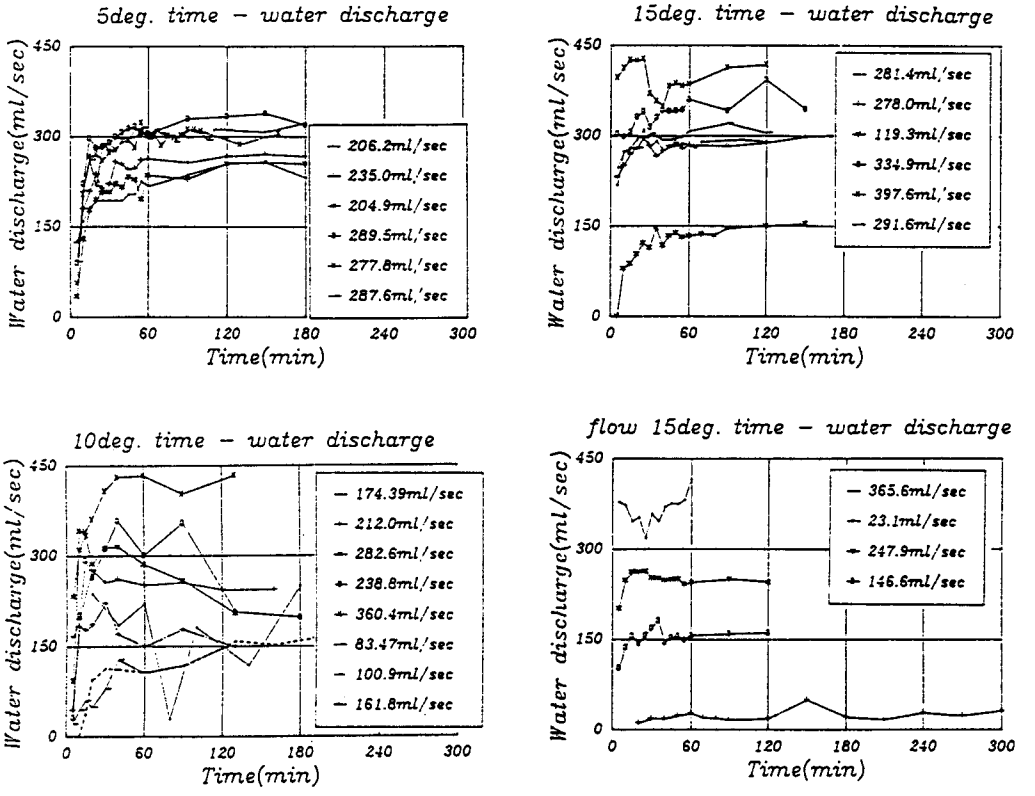
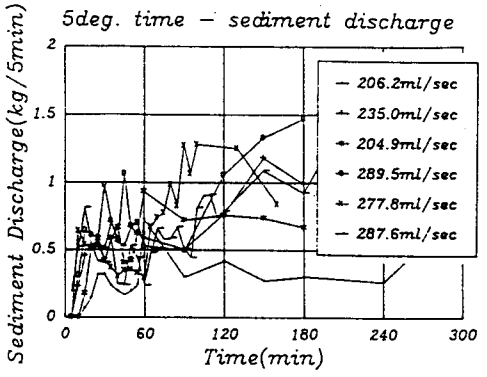
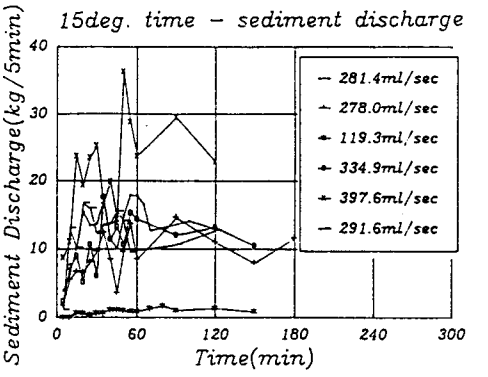
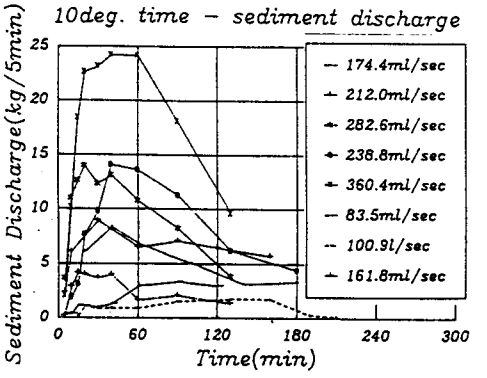


Fig.2.1 流出水量の経時変化

Fig.2.2は，勾配が５°，10°，15°とフローの場合の流出土砂量の経時変化を表した図である．勾配が大きいほど掃流力が大きくなり，また土粒子が転がり易くなり，流出土砂量が多いことがわかる．また，フロー実験の場合の流出量は降雨実験に比べてかなり多いことがわかる．そして，勾配15°でははっきりしないが，10°では減少傾向がみられ，侵食が停滞していることがわかる．また５°の場合には土砂はほとんど流出せずリルの発達は緩慢である．流出土砂量が減少して行く理由は侵食が進むとリル網の河床勾配が小さくなるためと思われる．また，勾配５°，10°，15°ともに，流出水量が少ない場合は流出土砂量が多くならずリルは発達は緩慢である．フロー実験においても同様である．このように，流出土砂量は流出水量の大きさに関係する．そこで，Fig.2.3のように，流出水量と流出土砂量の関係を両対数グラフ上で示してみた．流出土砂量と流出水量は近似的にべき乗の関係があり，５°，10°の場合は同じ傾向にあるが，15°になると傾向が変わる．また，流出土砂量は流出水量が多いほど多く，流出土砂量は勾配と水量に密接な関係があるものと思われる．







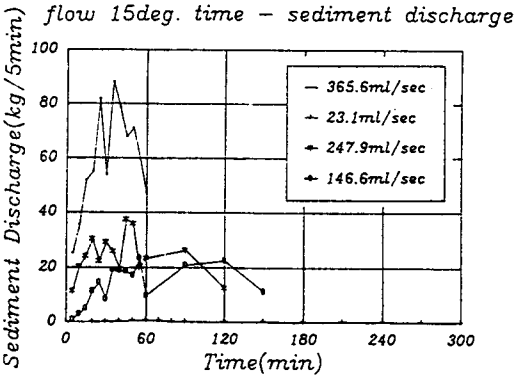


Fig. 2. 2 流出土量の経時変化

2）リルの平面形態の時間変化

ある時刻の平面形態の写真と一定時間経過後の写真を重ね合わせ，侵食部を黒く塗りつぶし，堆積または消滅部を斑点部で表してリル網発達の様子を調べた．Fig. 2. 4は，降雨実験における斜面勾配15°の場合の平面形態変化を表し，一方，Fig. 2. 5は，フロー実験における斜面勾配15°の場合の平面形態変化を表し，ともに平均流出水量がほぼ等しいものを選んだ．

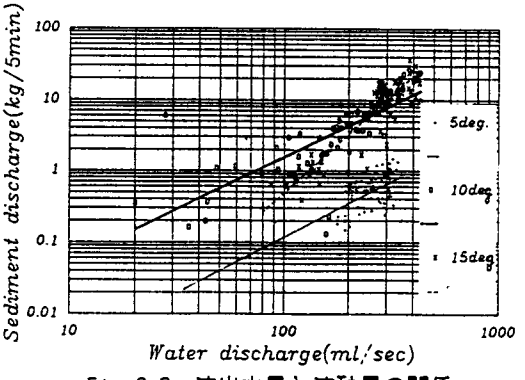


Fig. 2. 3 流出水量と流砂量の関係

降雨実験では，散水ノズルからの給水により斜面全体に表面流が発生する．このため下流部では流水量が増加しリルが発生する．発生したリルは，そのリルへの流水の集中により深く侵食され，またリルの周囲は周辺との高低差から掃流力が大きくなり削り取られる．そして流水量が多い方向に侵食しやすい．つまり，上流方向からの流水が大きいため上流方向にリルはよく発達する．リルの先端ほど，さらに，幅が狭く下流ほど広くリルは発達しやすい．そして，先端部で削られた土砂がリルの下流部までくると，リル幅が広くなるため水深が下がり，掃流力の低下により堆積が生じる．リルの発達方向は，リル全体に上流方向に，また，蛇行部や分岐，合流部では流水のリル壁への衝突方向にみられる．このリル壁の崩壊が起こりリルは横方向に大きく広がる．しかし斜面勾配が5°の場合にはリルの深さは浅く，侵食しても掃流力が小さいため，その土砂を流出できず堆積してしまい，リルは消滅しやすく発達しにくかった．

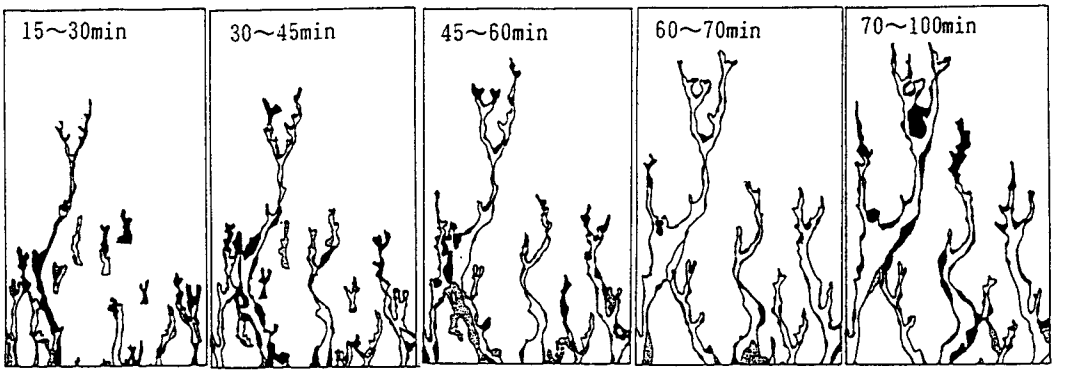


Fig.2.4　降雨実験における平面形態変化（斜面勾配15°）

フロー実験では，斜面の上流端では越流水が斜面幅いっぱいに流れるが，斜面の低い方へと流れるため流水が集中し数本の水みちができる．そしてその水みちは，斜面下端に達するまでに合流し，集中水がさらに大きくなり，水みちは固定しリルとなり，深さ方向に侵食する．侵食が進むとリル壁は流水の衝突により崩壊するが，その土砂は一時ダムのようにせき止め，ある程度水を貯めると一気に崩壊して流れ出し，さらに下流部にリル壁崩壊を引き起こす．これはリルの合流部や蛇行部で生じ，フローによるリル面積の増加は，このリル壁崩壊によるものがほとんどである．

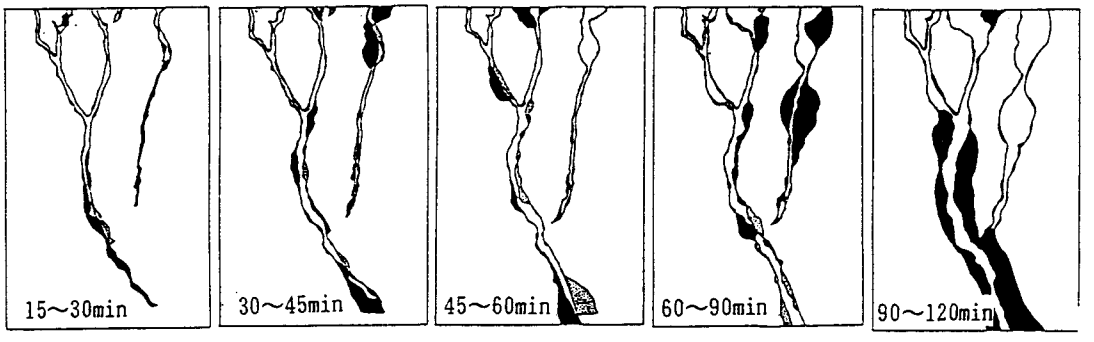


Fig.2.5　フロー実験における平面形態変化（斜面勾配15°）

3）　リル幅の時間変化

Fig.2.6に示すように，斜面横幅に対するリルの横幅を百分率で求めたものを次式で表してみた．

$$\text{リル幅（\%）} = \frac{b}{H} \times 100 \qquad (2\text{-}1)$$

Fig.2.7は，斜面の下流端から上流に向かって定位置における斜面横方向のリル幅を示した図である．降雨実験では，給水初期には斜面下流端ほどリル幅が広いが，これは流水量の多い下端ほどリルの個数が多いためである．リルは分岐しながら成長し，その分岐点がリル幅の波形で山の頂上にあたる．また，斜面下端ではリル幅は時間的に同じように増加している．上端部では，時間経過にともない上端に向かう方向のリルの伸びが停滞するが，これは上流部ほど流水が少なくなるためである．

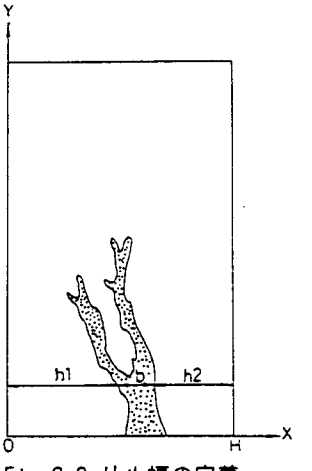


Fig.2.6 リル幅の定義

フロー実験では，ある時間までリル幅の広がりは小さく，それ以降大きくなることがわかる．こ

れは，降雨では表面流や雨滴衝撃によりリルの縁が徐々に削られるが，フローでは表面流はなくリル壁が一気に崩れてしまうためであろう．また，フロー実験では，リル幅は上流ほど広く次第に同じ幅になっている．

また，降雨実験では，下端から200ｃｍ，フロー実験では340cmのところでリル幅の発達は小さくなっているが，この付近がリル網の分岐（合流）部と分岐（合流）部の間にあるためである．ともにこの付近では，横方向の代わりに深さ方向に大きく侵食している．

次に，時間的にどの位置で侵食が大きいかをみるため，斜面下流端から上流方向に向かって定位置における５分間当りのリル幅の増加量を求めた．Fig. 2. 8は，降雨実験の場合の一例である．

このグラフより，初期は侵食場所が上流方向に移行し，一時的に下流から上流へ大きく侵食が起きるが次第に減衰している．このことから，初期ではリルが上流方向に分岐しながら発達し，ある程度深さ方向に掘れると，リル壁の崩壊が起きて，一時的にリル幅が広がるが，次第にその量は小さくなることがわかる．

一方，フロー実験の場合は，侵食の移行が逆に上流から下流方向であり，降雨実験の場合と侵食の様態が異なることがわかった．

このように，降雨実験とフロー実験では侵食場所の移行の方向が逆になるが，この理由は，降雨においては初期に流水量が多い下流ほどリルが生じやすく，そのリルのヘッドダウンによって上流に伸びるためである．またリル壁崩壊による侵食も，下流ほど先に深く掘れて行くためであろう．フローにおいては，流水にともない上流から下流方向に侵食し，リル壁崩壊も上流側から先に深く掘れるためであると思われる．なお，リル幅の減少がみられるが，初期のリルは深さが浅く，雨滴衝撃や上流からの流出土砂により埋め戻されやすく消滅も多いためであり，下流部で見られるものは，ほとんど堆積によるものである．

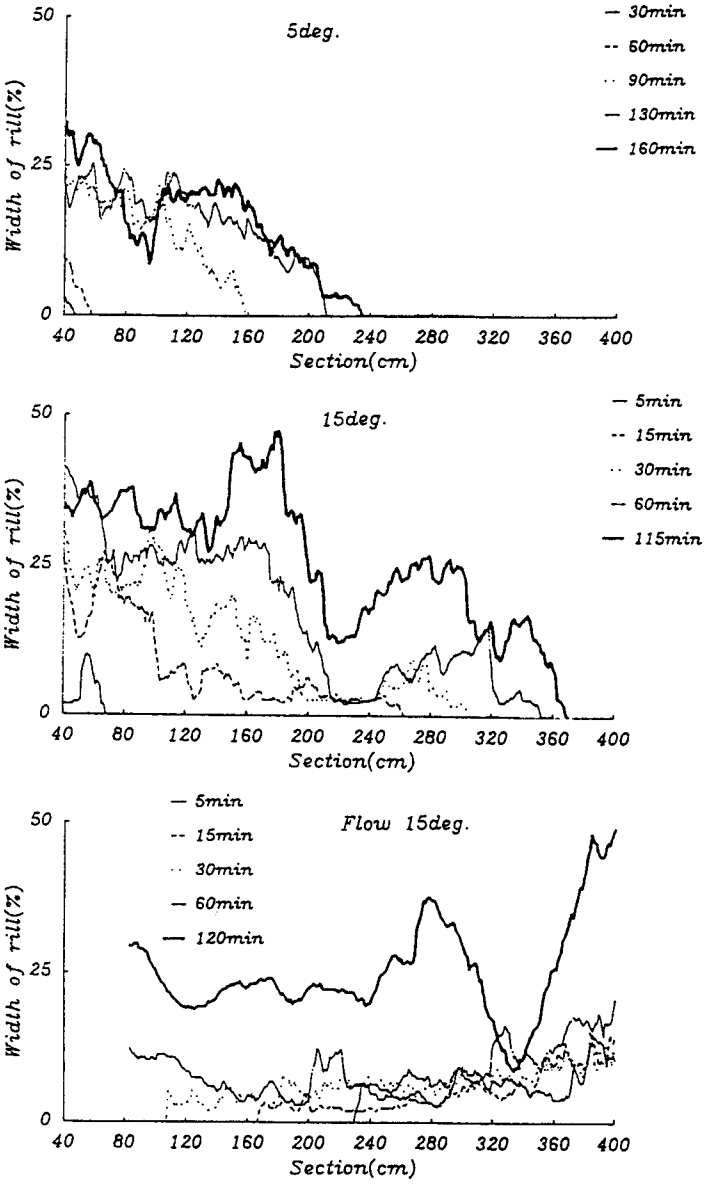


Fig. 2. 7　斜面横方向のリル幅の変化

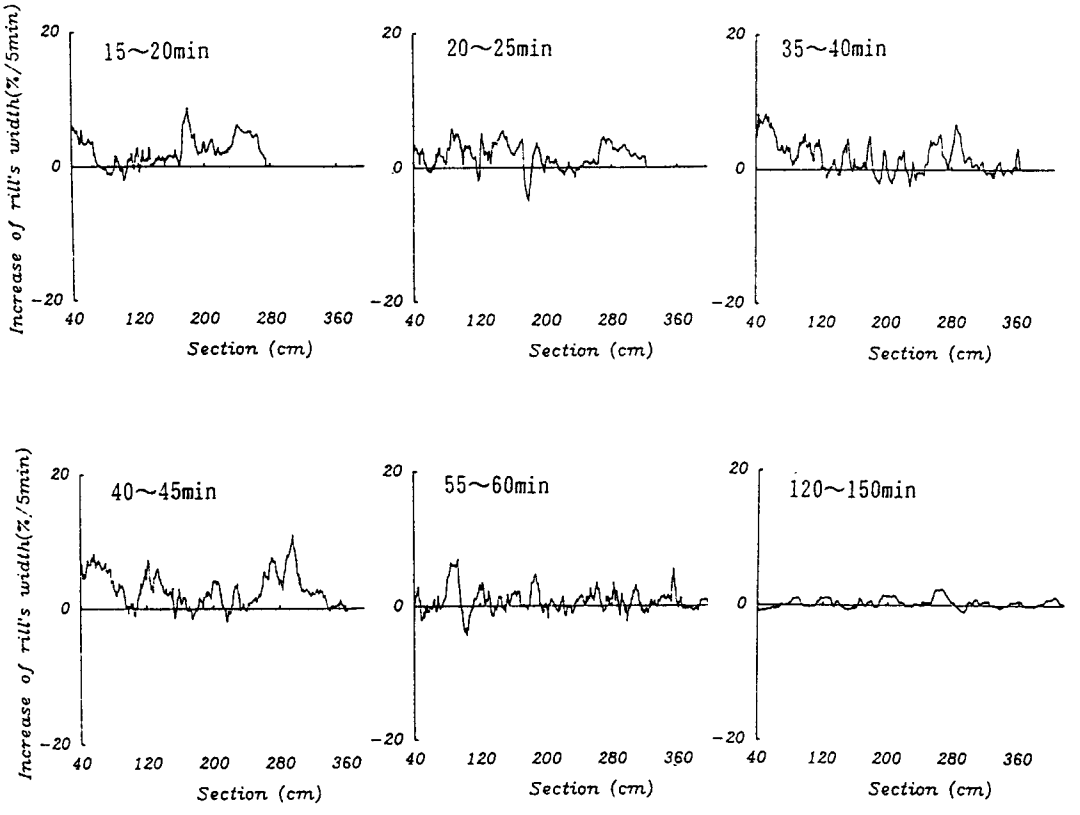


Fig.2.8　5分間当りのリル幅の増加量（降雨実験の場合）

4）　リルの面積，リルの周長の時間変化

Fig.2.9は，経過時間とリルの総面積の関係を表した図である．一方，Fig.2.10は，5分間のリルの面積変化量の経時変化を示した図である．同様に，Fig.2.11は，経過時間とリルの総周長の関係を表した図であり，Fig.2.12は，リルの5分間の周長の変化量の経時変化を表した図である．

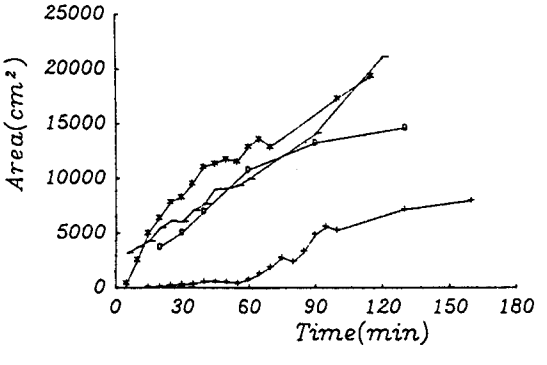


Fig.2.9　リルの総面積の経時変化

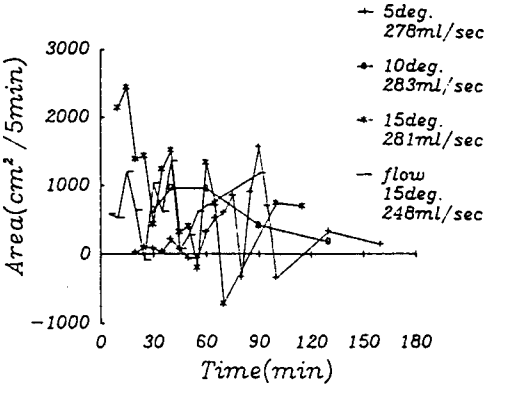


Fig.2.10　5分間のリルの面積変化量の経時変化

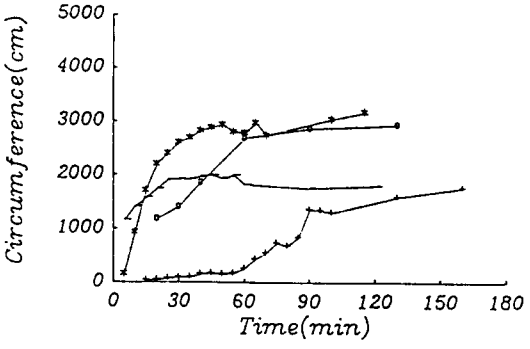


Fig.2.11　リルの総周長の経時変化

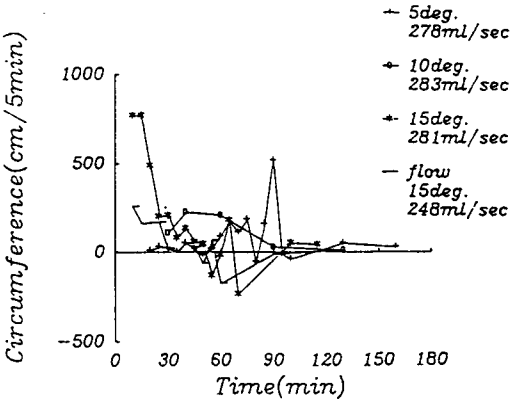


Fig.2.12　５分間のリル周長の変化量の経時変化

リル面積はどの斜面でも時間経過に伴い増加しているが，降雨実験の場合，リル面積，周長ともに時間経過に従い増加量が小さくなり，リルが次第に安定形状に向かっていることがわかる．また，傾斜が大きいほど増加量が大きいことがわかる．しかし，フロー実験におけるリルの面積はむしろ増加傾向であり，侵食がなお進んでいることがわかる．これからでは安定するかどうかは，この段階でははっきりしない．また，周長についてはどの斜面においても時間的に増加量が減少しているが，面積は多少増加していることから，リルの凹凸が削られるように広がり，リルが１本化することがわかる．フローによるものでは増加量が特に小さいが，初期の状態でリル網が確立され，次第に横方向に広がるのみで，リルがほとんど分岐しないためと思われる．また，Fig.2.13は，リルの周長とそのリルの最先端までの長さの関係を表した図である．この図より，リルはその周長の増加にともない，その長さも伸びていくがその割合は停滞していくことがわかる．これは，上流部ほど流水量が小さくなるためであり，周長がなお増加しているのは，リルが互いにつながっていくためであろう．そしてこの関係は，斜面勾配に関係しないことがわかる．

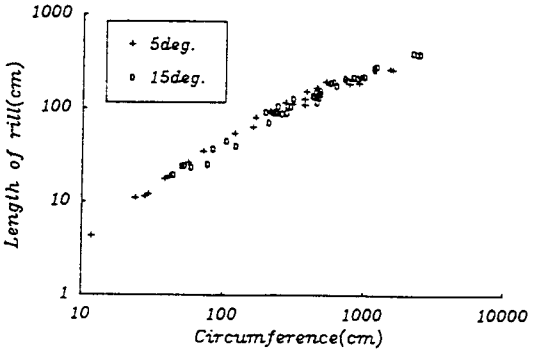


Fig.2.13　リルの周長とその最先端までの長さの関係

次に，リルの面積が流出土砂量とどの様に関係があるかを調べてみた．ここで，

$$\text{侵食密度}\ (\mathrm{g/cm^2}) = \frac{\text{累積流出土砂量}}{\text{リル面積の増加率}} \qquad (2\text{-}2)$$

で定義し，流出土砂量のリル面積に対する依存度を求めた．面積の増加割合より流出土砂の増加割合が勝るれば侵食密度は増加する．Fig.2.14は，経過時間と侵食密度の関係を表した図である．侵食密度は時間的に増加し，次第に落ち着いており，フローでは減少さえしている．そして，勾配が小さいほどその値は小さく，落ち着くのが早い．このことは，初期では面積の増加割合よりも流出土砂量の増加割合が大きいが，次第に等しくなり勾配が小さいほど早く等しくなることがわかる．したがって，流出土砂量が初期では深さ方向に侵食し面積の増加に依存せず，ある深さまで掘れると横方向に掘れ面積の増加（横方向の侵食）に依存して行くことがわかる．また，言い換えればこの値は侵食深さであり，勾配が大きいほど深く掘れ，ある深さ（河床勾配）になると深さ方向の侵食が停滞することがわかる．つまり，斜面勾配が小さいほどその限界の河床勾配になるのが早く，

横方向の侵食に依存することがわかる．また，細かくみれば，15°において一時的に侵食密度が一定または減少しているが，リル壁崩壊と時間的に一致し，このリル壁崩壊が面積を急増し，その崩壊した土砂が一時的に堆積するためであろう．

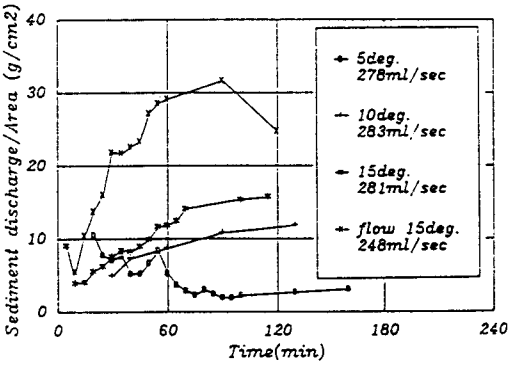


Fig.2.14　侵食密度の経時変化

III．リルの平面形態解析

3・1　フラクタル次元による数量化[5)]

1）　概　説

複雑な形態の数量化に使われる指標の一つがフラクタル次元である．ここではリル平面形態のフラクタル次元を，粗視化の度合を変える方法および測度の関係より求める方法を用いて求めてみる．まず，粗視化の度合を変える方法については，写真のトレース図よりリルの周辺に沿ってランダムな点の座標値をデジタイザーでコンピュータに入力する．さらにFig.3.1に示すように，プログラムによって一辺がｒの正方形に分割し，リルの内部（平面的なリル）を含む正方形と，リルの縁（線的なリル）を含む正方形の個数Ｎを数えさせ，ｒとＮの関係からフラクタル次元を求めた．なお，ｒはモニター上で１，２，４，８，10，15，25，30，40，50ドットの10通りで変化させた．また，測度の関係より求める方法は粗視化の方法と同様，コンピュータにリル外縁部の座標を入力し，プログラムにより面積と周長を計算させ，面積と周長の関係からリル網のフラクタル次元を求めた．

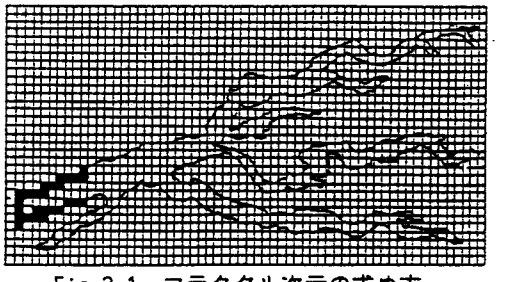


Fig.3.1　フラクタル次元の求め方

2）　リルの平面形態のフラクタル次元

先ず，粗視化の度合を変える方法によりフラクタル次元を求めた．寸法ｒと個数Ｎの関係のグラフにおいてその傾きがフラクタル次元となる．Fig.3.2は，斜面勾配ごとに時間経過に伴うリル平面形態のフラクタル次元の変化を表した図である．

フラクタル次元は，その値が大きいほど形態が複雑である．降雨実験の場合，時間経過に伴いフラクタル次元は約1.6～1.8次元に落ち着き，リルが分岐せず形態が安定になることがわかる．しかし，フロー実験では，フラクタル次元は上昇傾向にある．しかし，斜面を観察すると，降雨の場合はリル網の分布（分岐）が複雑になって行くが，フローでは逆に単純になっており，この手法ではリル網の複雑さを表せないようである．この場合に求めたフラクタル次元は複雑さを表さず，ここではリルの幅の広がりを表す．つまりリルが平面的（２次元）になっていくと考えるべきである．

そこで，フラクタル次元をリルの外縁部（線的なリル）のデータのみから求めてみた．Fig.3.3は，経過時間と線的なリルのフラクタル次元の関係を示した図である．このフラクタル次元は，リルの縁を波形的に見た場合の複雑さである．線的なリルのフラクタル次元は，降雨においては次元は一時大きくなり減少傾向にあり，リルが分岐していくが次第にその凹凸が小さくなることがわかる．フローにおいては減少傾向であり，リル壁崩壊によりリルが単純化していることがわかる．そして，次元が１に近づいていることから，リルの縁が直線的になっていることが言える．

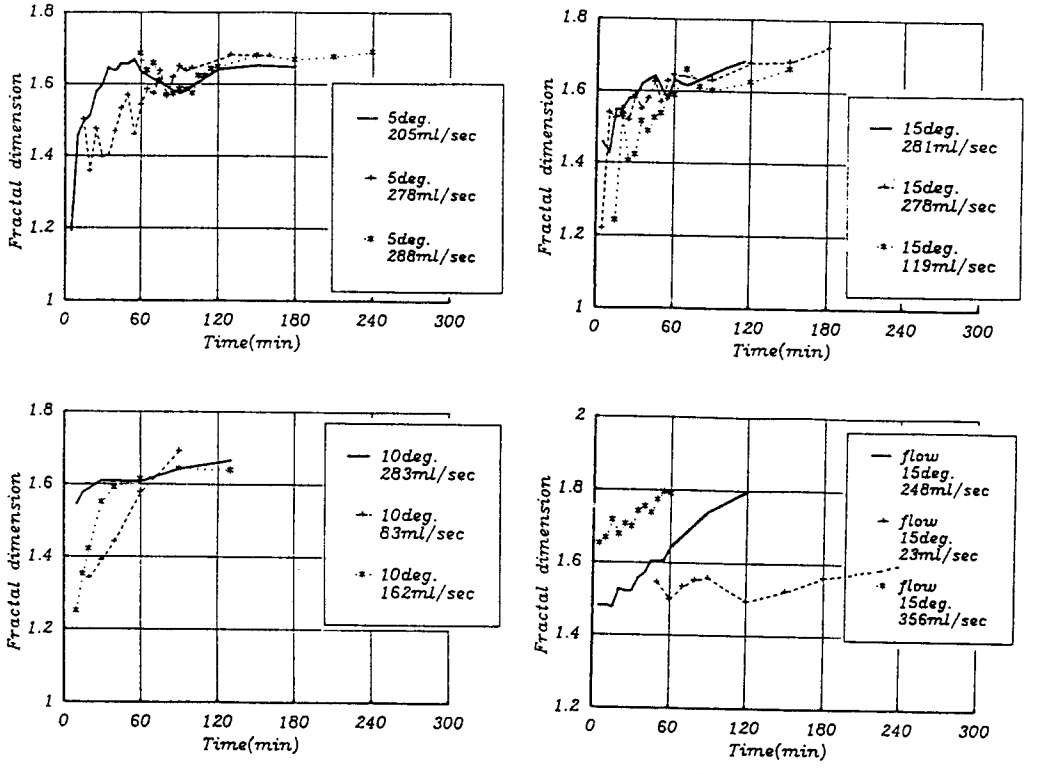


Fig.3.2 フラクタル次元の経時変化（リル内部を含む）

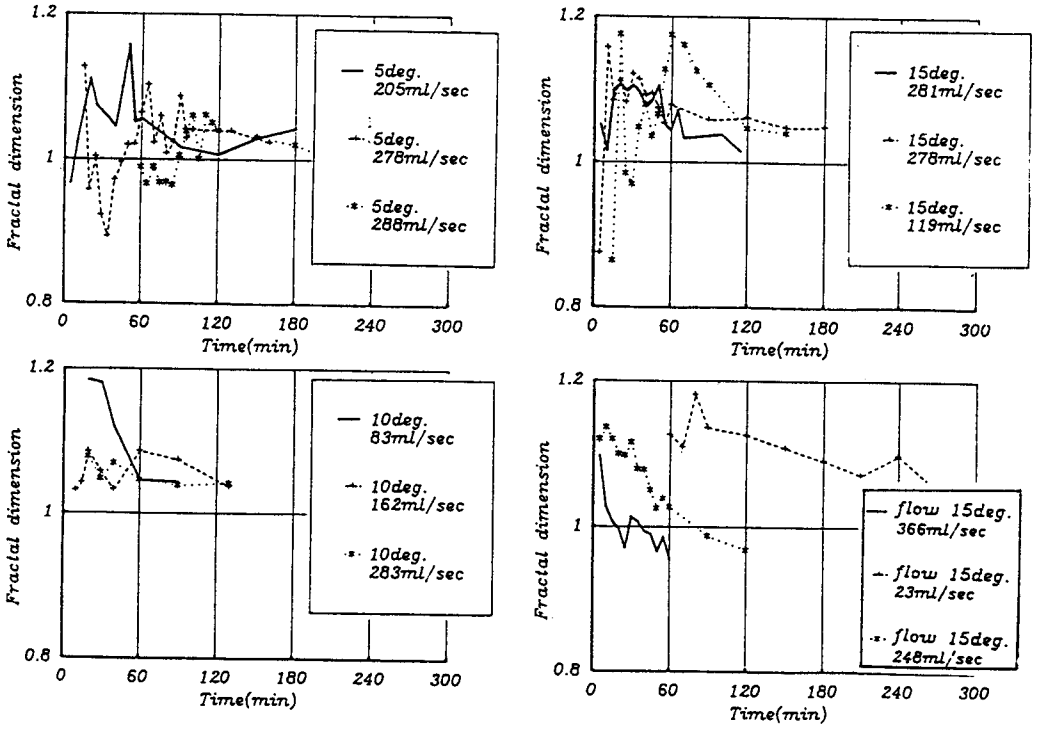


Fig.3.3 フラクタル次元の経時変化（リル外縁部のみ）

次に，測度の関係によりリルのフラクタル次元Dを求めてみる．リル面積をS，周長をXとすると，面積は2次元測度をもつ量なので，$S^{1/2} \propto X^{1/D}$の関係により，次式からリルの縁のフラクタル次元を求めた．

$$D = \frac{2}{\log S / \log X} \qquad (3\text{-}1)$$

Fig.3.4は，降雨実験におけるリルの周長と面積の関係の一例である．斜面勾配，降雨強度に関係なく両者の関係は直線的な分布を示し，この斜面でリルのもつフラクタル次元は約1.8次元であることがわかった．しかし，ある周長になると面積のみ増加する場合があるが，これは上流方向のリルの発達が止まり，リルの幅の広がりだけとなり周長がほとんど増加しないためと思われる．

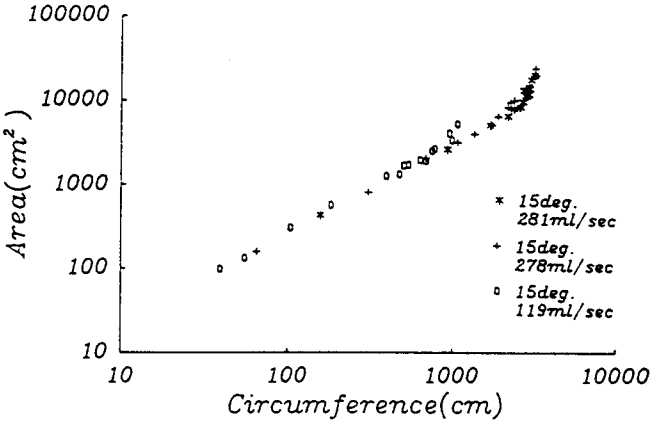


Fig.3.4 リルの周長と面積の関係

3） 考 察

まず，粗視化を変える方法で求めたフラクタル次元の時間的変化と流出土砂量の時間的変化の比較・検討を行う．斜面勾配が5°では，フラクタル次元の安定する時間は流出水量にはほとんど関係なくランダムで，たとえば，流出水量の多いものが流出水量の少ないものより遅く安定したり，その逆があったりしている．また，流出土砂量もはっきりしたピークのようなものは見あたらず，フラクタル次元同様に流出水量に関係なくランダムな変動をしているが，測定時間の後半部分にはピークらしきものが現れ始めているように見受けられる．次に10°であるが，流出土砂量は流出水量の多いものほどはっきりとしたピークを表しており，そのピークはフラクタル次元の安定時間と同じくらいの時間である．また，フラクタル次元が一定になっても，流出土砂量のピークはしばらくの間続いている．したがって，平面形態が安定してもなお土は流出しているということで，深さ方向の侵食が流出土砂量のピーク時頃から降下し始める時間までの間も継続して進行していると考えられる．15°では，ピークらしきものは少し見受けられるが，流出水量の特に大きいもの以外は，どれも約20分～40分前後を境に徐々に減少し始めている．ここで15°のフラクタル次元を見てみると，これも約20分～40分前後より後は安定状態に入っている．したがって，これも10°と同じことが言える．以上，流出土砂量とフラクタル次元の結果を得たが，ここで5°の流出水量とフラクタル次元の関係が他の10°，15°のものと違う傾向を表した事について考察を行う．まず，第一に考えられるのは，実験時間が短すぎたと言うことである．リルまたは流出土砂量が安定した時点で実験を終了したのであるが，もう少し長く測定時間が必要であったのかもしれない．第二番目に，斜面勾配の小さい5°の場合の侵食現象が10°・15°の場合の侵食現象と根本的に違っていることが考えられる．しかしながら，どの傾斜の場合もフラクタル次元と平面形態の変化は大きく関係していることが言える．以上の考察とフラクタル次元を求めた結果をまとめると次のようになる．

① 粗視化による方法，測度の関係による方法とも，平面形態を数量化し評価することができる．
② 粗視化の度合を変える方法の場合，時系列的に評価することができる．また，リル外縁部および面積も含めた2通りのフラクタル次元はどちらを用いても評価には差し仕えがない．
③ 流出土砂量のピーク時間と平面形態のフラクタル次元の安定時間はほぼ同じ時間である．
④ 平面形態の安定した後に，流出土砂量は減少し始める．これは平面形態が落ちつきその後河床が安定するためと考えられる．
⑤ フラクタル次元と流出土砂量との関係を見ると，5°と10°の場合と15°との場合では侵食過程にやや違いがあるように見える．

３・２　波形（フーリエ）解析を用いた平面形態の数量化

１）　Ｐ表現表示

フーリエ解析は，一般には時間を周期とした地震波形などの解析に使用されている．リル平面形態をそのままでは波形解析することはできないので，ここでは，リル平面形態の外周を一つの空間波形とみなして解析を行うことを試みる．

Fig.3.5のように，連続曲線ＣはＸＹ面上の０からｎ番目の複素点列として次式で与えられるとする．

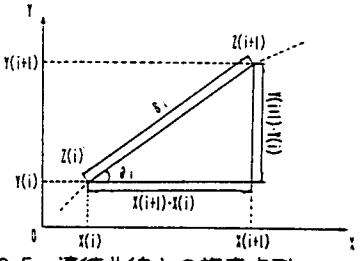


Fig.3.5　連続曲線上の複素点列

$$Z(0), Z(1), \cdots\cdots, Z(n)\quad (Z(i)=X(i)+jY(i): i=0,1\cdots,n) \tag{3-2}$$

曲線Ｃを構成している各線分の長さをδ_i（$=|Z(i+1)-Z(i)|$）とし，曲線の点列(3-2)を用いて，次の関数W(i)を定義する．

$$W(i)=\frac{Z(i+1)-Z(i)}{\delta_i}=\cos\theta_i+j\sin\theta_i\quad (i=0,1,\cdots,n)) \tag{3-3}$$

W(i)がＰ表現である．ここでリルの外縁部に沿いながら座標をコンピューターに入力し，入力した座標データの全長をさらにｎ等分してｎ対の補正された等間隔の座標データを作成した．Fig.3.6は，Ｐ表現をリル平面形態に適用した場合の概念図である．Fig.3.7は，斜面に発生したリルの中の一本について，そのＰ表現の経時変化の一例である．リルが分合流している場合には，この解析方法は使えないが，Ｐ表現は，人間の視覚が線図形パターンから得る情報を素直に表現したもので，リルの形態の特徴を印象づけて表している．たとえば，複雑な起伏のある形状においては，Ｐ表現表示は地震波形のようにとても目まぐるしく上下したものになる．したがって，複雑に蛇行したりすると，波形も複雑になっている．一方単純な形はＰ表現も単純である．Ｐ表現表示には視覚にとって重要な情報である曲線の曲がり具合が十分よく反映されており，以後のスペクトル解析に波形として用いるのに都合がよい．

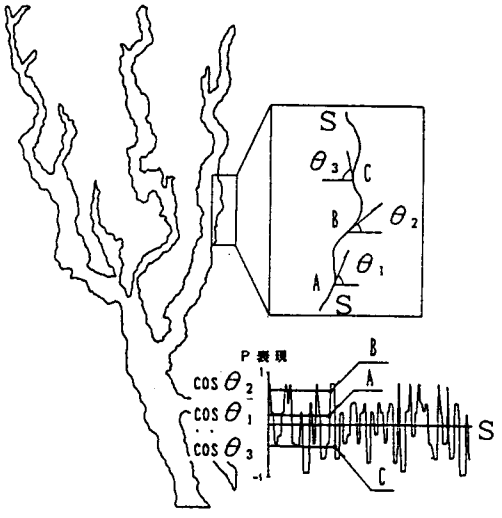


Fig.3.6　Ｐ表現の概念図

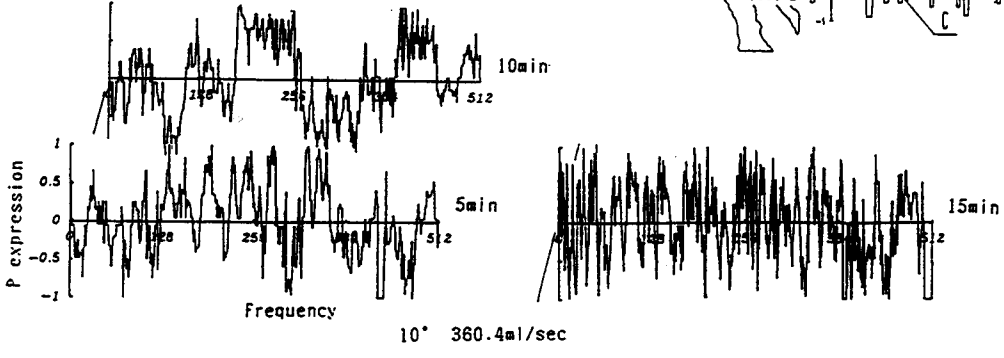


Fig.3.7　Ｐ表現の経時変化の例

2） P表現表示のパワースペクトル

一般に，様々なパターンについてパワースペクトルを調べると，直感的に単純な形をしているほどその成分が周波数ｋ＝0の付近に集中しており，複雑に曲折しているパターンほど大きい周波数ｋのところまでパワースペクトルの非零成分が広がる．ここでは，先ず，リルのＰ表現Ｗ(j)の波形解析を行いフーリエ係数をＣ(k)を求め，次式によってパワースペクトルＰ(k)を定義する．

$$P(k)=|C(k)|^2 \qquad (3\text{-}4)$$

さらに，このＰ(k)と周波数ｋを両対数表示して最小自乗して近似直線を求め，その傾きの絶対値を求めて平面形態の数量化を行った．このように表現したパワースペクトルは，通常の時系列波形のパワースペクトル表記方法にだいたい従ったが同じ意味のものではない．すなわち，空間周波数は時間周期ではなく，リル周長Ｌのｋ等分を単位長さにもっている．Fig.3.8は，斜面に発達した個々のリルについてそのパワースペクトル（関数）を両対数グラフに表し，さらに最小自乗によって求めた近似直線の傾き（以後これをパワースペクトルと呼ぶことにする）を時間との関係で表した一例である．

パワースペクトルの値はフラクタル次元とは逆に，値が低くなると複雑であることを示す．また，LEFT1,2,･･･は，斜面に発生したリルの左から１番目，２番目・・・というふうに表している．5°，10°，15°のすべての変動を見ると，初期に特別な変動はないものの時間が経つにつれて変動が大きくなっていくが，平均的には値は減少していくようである．変動のしかたはフラクタル次元の場合とは多少異なっている．平面形態の場合，リルを左から１番目，２番目・・・と分けているため，一概に流出土砂量との関係を論じるわけにはいかないが，どのグラフも似たグラフであり，リル平面形態との関係がフラクタル次元のときに論じたことと同じであるものと考えることができる．

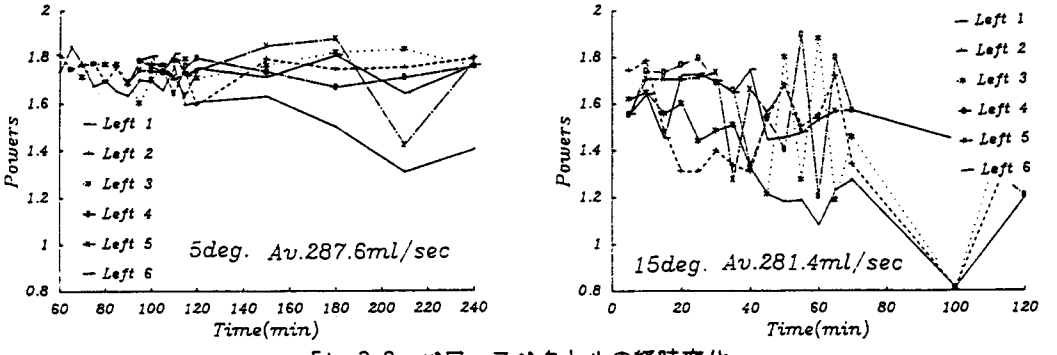


Fig.3.8 パワースペクトルの経時変化

Ⅳ. リル侵食過程のシミュレーションの方法

4・1 概 説

リル網の平面形態は，斜面上で不規則に変化するランダムウォークパターンのように思われるが，ランダムウォークでシミュレーションしても，分合流のしかた，成長の方向などのパターンの特性を十分再現することはむずかしい．リル網は分流や合流を繰り返し，複雑なパターンへと成長するフラクタル性をもっている．ここでは，成長するランダムパターンモデルのうちのフラクタル現象として知られているＤＬＡ（凝集体）モデル[5]を用いてリル網発達シミュレーションを行い，実験で得られたリル網パターンとの比較を行った．

しかし，ＤＬＡモデルでは，リルの３次元的な形状を与えることはできず，流出土砂量などの経時変化はわからない．次の試みとして，細胞の成長・分化過程の数理モデルの一つである反応ー拡散方程式系[6]を用いてリル網の三次元的な形態変化のシミュレーションを行った．

４・２　平面形態のシミュレーション手法

１）ＤＬＡ（凝集体）モデル

２次元平面座標を考え，原点にパターン生成のもとになる種Ａをおく．次にそれを中心にもつ円周上の一点Ｂをランダムに選び，そこからランダムウォークするブラウン運動粒子を１つ放出する．その粒子がＡに到着すれば，そこで付着して２粒子のパターンとなる．粒子がＡに接触することなく遠くへ離れていけば，それを捨て次に新しく円周上にランダムに１点を選んで粒子を放つ．このブラウン運動粒子の発生の繰り返しにより凝集体パターンは成長していく．Fig.4.1は，モデルの説明と，成長させた凝集体パターンの例である．

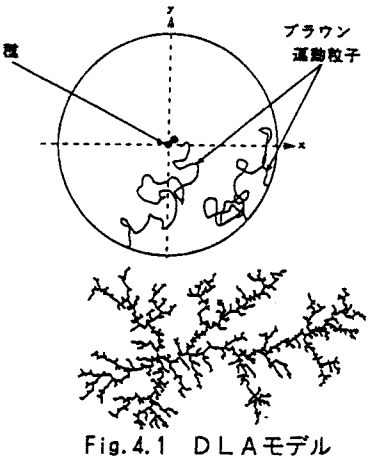


Fig.4.1　ＤＬＡモデル

２）シミュレーションの方法[15]

斜面上のリルの発達の様子を観察すると，多くは斜面下端部より発生し，ヘッドダウンを繰り返しながら斜面上方に分合流を繰り返しながら発達していく．また斜面に発生した表面流に雨滴の衝撃が加わることにより，加速された水流がパターンの発達を促すと考えられる．このことから，今回用いたモデルは，まず長方形の斜面を考え，その下端部にパターンのもとになる種をおく．そして，枠の中にランダムに点を選びランダム粒子を発生させ，ｙ軸方向(斜面下方)には一定に下端に向かって進み，ｘ軸方向(水平方向）はある範囲内で変化する運動をする粒子を１つ放出する．粒子がパターンに接触すれば，そこで付着しパターンは発達する．接触せずに枠外に出ればその粒子を捨てて新しく枠の中に点を選んで粒子を放つ．この作業を繰り返すことによってリル網パターンは成長するが，リルに幅がなく分岐の数が現場に発生したリル網に比べて多すぎる．そこで次の２つの仮定を設けた．①パターンの幅を先端からの距離に比例させて与える．②パターンの先端に優位性を与えて分岐の数を制限する．このような修正を加えたリル網パターンの発達モデルをつくり，シミュレーションした結果，得られたパターンはFig.4.2のようになった．

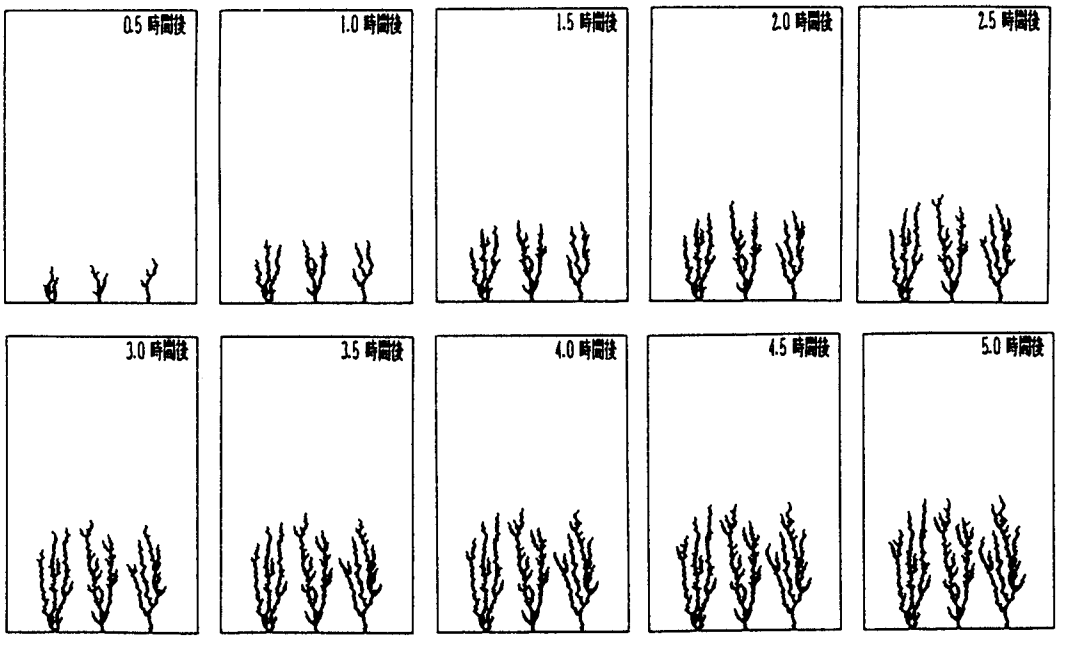


Fig.4.2　ＤＬＡモデルによるリルパターンの例

3）シミュレーションの結果

フラクタル次元の比較　シミュレーションによって幾何学的に相似なパターンは作れないが，感覚的には似ているパターンは作ることができる．このことをMandelbrot[4]は，統計的に自己相似性という言葉で表現し，非整数量であるフラクタル次元を導入してその複雑さの指標とした．フラクタルの説明として海岸線などがしばしば引用されているが，ここでは実験的に斜面に発達させたリル網（以下実験リル網と呼ぶ）の写真撮影を行い，そのパターンのフラクタル次元を求めて上述のシミュレーションでできたパターンのフラクタル次元との比較を行った．実験リル網での粗視化法によるフラクタル次元Dの変化をFig.4.3に示す．一方，シミュレーションによって得られたパターンのDをFig.4.4に示す．また，測度によるフラクタル次元は，実験では1.20，シミュレーションでは1.14となった．このことからも，実験リル網のパターンとシミュレーションによるパターンとは，似ているといえる．

時間-リル面積の比較　時間的にリル面積がどのように変化するかを比較してみた．Fig.4.5は，実験リル網の時間－リル面積の関係である．また，シミュレーションパターンのそれはFig.4.6に示す．実験リル網では，時間が経つにしたがって一定量を示すようになる．シミュレーションパターンではリル面積は時間とともに変化量が少なくなるが一定量を示すまでには至らない．

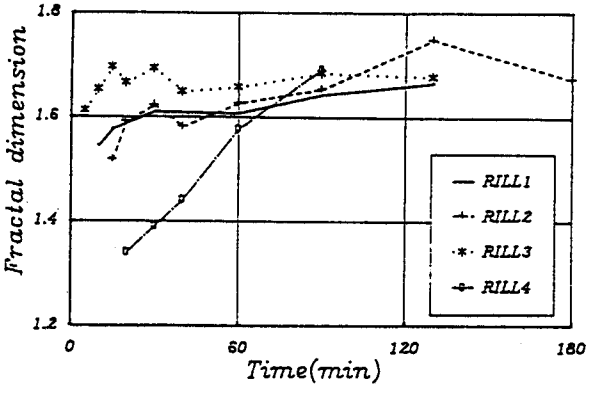


Fig.4.3　フラクタル次元の経時変化（実験）

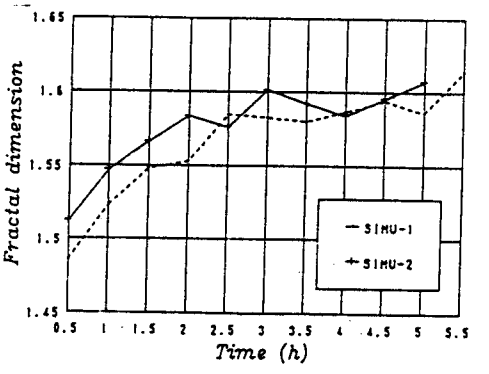


Fig.4.4　フラクタル次元の経時変化（モデル）

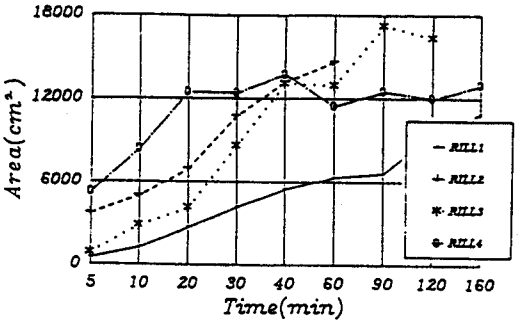


Fig.4.5　リル面積の経時変化（実験）

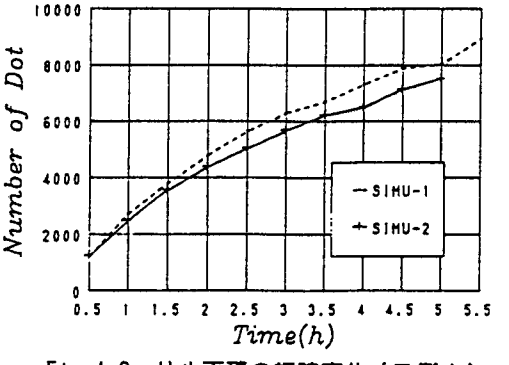


Fig.4.6　リル面積の経時変化（モデル）

4・3　三次元形態のシミュレーション手法

1）反応－拡散方程式系[6]のリル侵食への適用

動植物がとる成長・分化過程は，活性化物質ａと抑制物質ｈの触媒的相互作用にもとづいて行われると考えられており，さらに消耗物質Ｓと形態分化Ｙで細胞の形態の経時的変化を表わす．ａ，

h，S，Yが満たす方程式は次の(1)～(4)で表される．

$$\frac{\partial Y}{\partial t}=da-eY+\frac{Y^2}{1+fY^2} \cdots\cdots\cdots\cdots (1) \qquad \frac{\partial S}{\partial t}=C_0-\gamma S-\varepsilon SY+D_s\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \cdots\cdots (2)$$

$$\frac{\partial a}{\partial t}=C\frac{a^2}{h}S-\mu a+D_a\frac{\partial^2 a}{\partial X^2}+\rho_0 Y \cdots (3) \qquad \frac{\partial h}{\partial t}=Ca^2S-\nu h+D_h\frac{\partial^2 h}{\partial X^2}+\rho_1 Y \cdots\cdots (4) \qquad (4-1)$$

ここに，a:活性化物質の濃度，h:抑制物質の濃度，S:消耗物質の濃度，Y:形態分化指標を表し，C, ρ_0, ρ_1, ε, ν, γ, μ, f, C_0, D_s, D_h, e, D_aは任意定数である．方程式(2)，(3)，(4)は基本的には各物質の拡散現象と化学反応を表わす項で構成される．(1)は細胞分化の指標を示す最も重要な方程式である．この成長モデルとリル網の発達との間に次のアナロジーを与えた．

消耗物質　S → リルの深さ．

形態分化　Y → リルが生成された時＝1，リルが生成されない時は0を与える．

活性化物質 a → リル発達の促制因子，例えば流量など．

抑制物質　h → リル侵食の抑制因子，例えば土砂の堆積など．

2）　シミュレーション結果

Fig.4.7は，シミュレーションの一例である．時間経過に伴って枝別れを繰り返して成長していくが，約7000（無次元時間）前後から侵食が緩やかになり，9000では変化が緩慢となる．侵食深さSを等高線表示し，4000と9000とを比較すると，集水口付近では深さ方向への侵食に変化がなく，ある深さまで侵食されると深さ方向への侵食は停止する．また最も深い場所は枝別れの合流部である．この傾向は降雨実験でも同様である．平面形態Yはリル特有の分岐を表わしているものの，上流部から下流部までリル幅が同じであることが実際のリルとの相違点である．

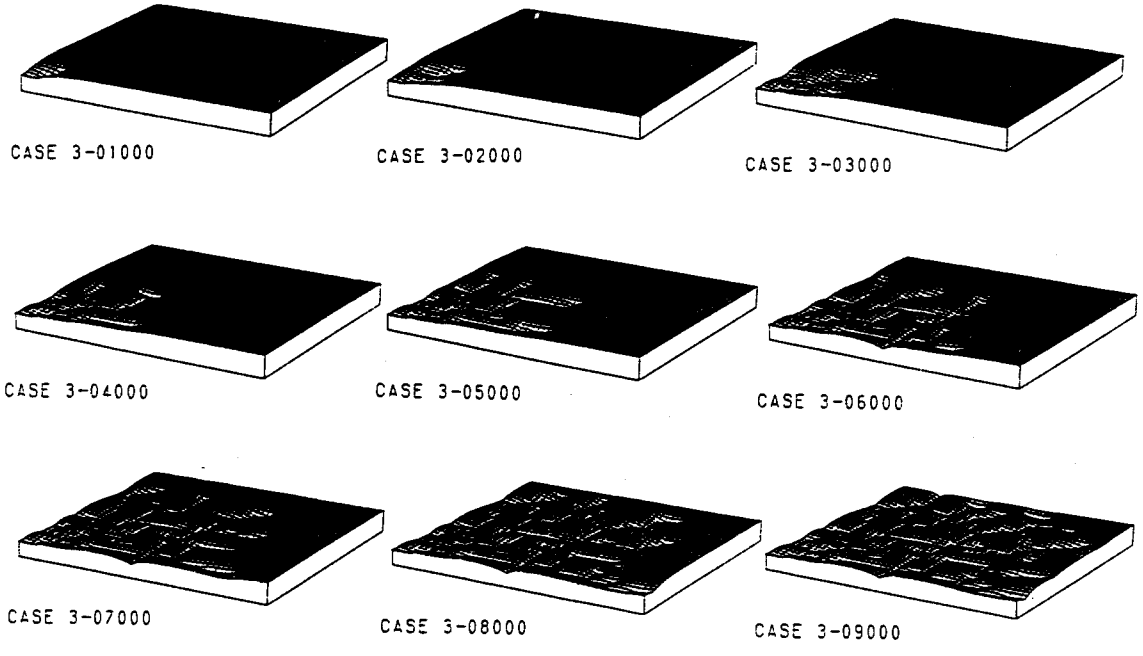


Fig.4.7　リルの３次元形状の経時変化

Fig.4.8は，(2)式のεを６通りに変化させた場合のリル容積（無次元）の経時変化である．リル容積は土工量計算の手法を用い，各時間の侵食深さＳと平面形態Ｙの値から算出した．無次元時間で表されているために，実際の降雨実験とは時間スケールが異なるが，リル容積の経時変化は，実験による流出土砂量の経時変化と同様にピークをもつ．

このシミュレーションでは，単位時間当りのリル容積の経時変化は発達途中でピークをもつこと，最も深く侵食される部分は枝分かれの合流部であることなど，実際のリルの発達過程と類似した点もある．しかしこの方法は細胞の成長モデルを用い，リルの形状にあうように係数を与えたに過ぎず，方程式系(1)～(4)の各項が示す物理的意味には何ら言及していない．この点で不完全なモデルであるが，活性化物質，抑制物質の拮抗作用という生物学上の概念は，リル侵食などの無機的な自然現象の説明にも使用できると考える．今後の課題は表面流量や掃流力などの水理的要因や土の物理要因，斜面勾配などの地形要因などを考慮して反応－拡散方程式系をつくることである．

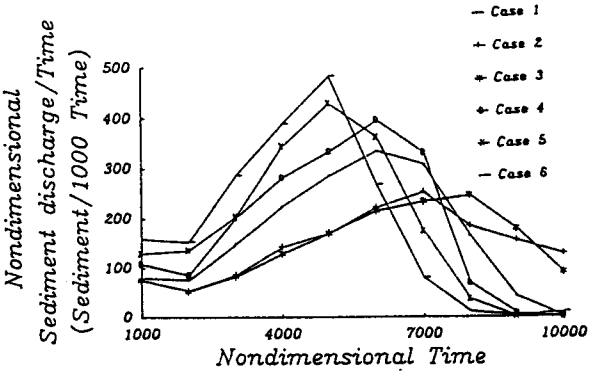


Fig.4.8 侵食量の経時変化

V. ま と め

人工降雨および越流表面水を用いた斜面侵食実験を行い，時間経過に伴う侵食量の変化を調べ，次の結果を得た．

1）リルの周長，面積，下流端からの長さの時間変化は，流出水量や流出土砂量の時間変化と同様な傾向を示し，これらはロジスティック曲線的な変化を示す．

2）リル侵食は深さ方向に進行していくが，ある河床勾配になると横方向に進行するようになる．また，ある周長になるまで発達すると面積のみ増加するようになる．

さらに，粗視化の度合を変える方法によりリルの平面形態のフラクタル次元を求めた．この場合に，リルの面積を含めて考えたものと，リルの外周だけを考えたものの２つの方法でフラクタル次元を求めた．まず，面的なフラクタル次元は，

3）降雨実験においても，フロー実験においても時間的に増加していく．しかし，降雨実験ではやがてリルが分岐しなくなり安定になる．このときのフラクタル次元は約1.6～1.8である．一方，フロー実験では，フラクタル次元は一定の割で上昇傾向にある．

また，リルの線的なフラクタル次元は，

4）降雨実験の初期には，次元は一時的に大きくなったり減ったりしながら次第に減少していく．これはリルが分岐しながらも次第にその凹凸が小さくなっていくためと考えられる．フロー実験においては，次元は時間経過に伴って減少し，やがて１に近づいていく．これはリル壁の崩壊によりリルの縁が直線的になり，形態が単純化していることを意味する．

次に，測度の変化から求めたフラクタル次元は，

5）降雨強度に関係なく約1..6～1.8次元の範囲である．

また，波形解析の手法を用いリル平面形態の数量化した．この際に，リル平面形態の外周を一つの空間波形とみなして解析を行ったが，リル平面形態をそのままでは波形解析することはできないため，Ｐ表現表示という波形に変換し，自己相関関数およびパワースペクトル関数を計算した．ここで，パワースペクトル関数については，その関数をべき乗近似し，その傾きの絶対値をパワース

ベクトルの値とし，リルの平面形態の特性を調べてみた．

6）平面形態は波形解析を用いて，形態を数値的に評価することができるが，一本一本のリルでしか評価できないのが欠点である．

形態の時間変化のシミュレーションでは，ヘッドダウン現象などの物理的なメカニズムや水理，土質条件などを除外して行ったが，実験リル網とシミュレーションで得られたリル網のフラクタル次元および面積の経時変化について比較を行った．その結果，今回使用したリル網発達モデルは，平面形態の変化の様子をかなりよく表現しているといえる．今後，シミュレーションで使用したパラメータの物理的意味や，またそれが侵食に関する諸要因とどのように関わっているか実験・観測を中心に考察を進めていくことが課題である．

最後に，リル網を生物の成長過程とみなしたシミュレーションを行った．シミュレーションには，形態分化（リル平面形態），消耗物質（リル侵食深さ），活性化物質（ヘッドダウン現象，掃流力など），抑制物質（土砂の堆積など）の４つの相互作用により発達して行くと考えたものである．

本報告をとりまとめるに際し，ご助言を賜った山口大学名誉教授，藤原輝男博士に謝意を表します．さらに，斜面侵食の実験と，実験結果のデータ整理およびリル形態解析のプログラムソフト開発の多くは，本吉文明氏（大林組），藤村和平氏（山口県）の協力によるものである，さらにシミュレーションプログラムの開発は，遠藤守彦氏（徳島県），岩本浩君（山口大学工学部大学院）に負うところが大きい．ここに記して感謝する次第である．さらに本研究の一部は，文部省科学研究費（一般Ｂ，代表：藤原輝男，課題番号 63460214，一般Ｃ，代表：深田三夫，課題番号 03660246）の補助により行われた．

参考文献

1）芦田和男・奥村武信・田中健二：斜面侵食に関する実験的研究，京大防災研究所年報第16号B，p. 449-470 (1973)

2）芦田和男・田中健二：裸地斜面における流路の形成過程に関する研究（１），京大防災研究所年報第18号B，p. 513-528 (1975)

3）芦田和男・沢井健二：裸地斜面における流路の形成過程に関する研究（２），京大防災研究所年報第19号B，p. 329-343 (1976)

4）Mandelbrot, B. B. :The Fractal Geometry of Nature(Freeman, San Francisco (1982)

5）松下　貢：成長するランダムパターンのフラクタル構造，数理科学，No. 2 (1986)

6）Meinhardt, H. A. :Models of Biological Pattern Formation,　Academic, San Diego, Calif. (1982)

7）高安秀樹：フラクタル，朝倉書店，p. 1-21，p. 54-57 (1986)

なお，本報告の第Ⅳ章は次の文献を加筆したものである．

8）藤原輝男・深田三夫・遠藤守彦：リル網発達形態のシミュレーション解析，土木学会中・四国支部講演会概要集，p. 90-91 (1990)

9）深田三夫・日下達朗・岩本浩・藤原輝男：反応－拡散方程式系によるリル侵食のシミュレーション，農業土木学会九州支部講演要旨集，p. 191-192(1992)

また，本報告の一部は下記の文献に発表済みである．

10）藤原輝男・深田三夫・松崎浩憲：リル網のフラクタル的形態について，農業土木学会九州支部講演要旨集，p. 143-144 (1987)

11）藤原輝男・深田三夫・伏田建治：リル発達過程におけるその形態的特性と流出土砂量の関係

－フラクタル次元の導入－，農業土木学会大会講演会要旨集，p. 388-389 (1988)
１２）Fujiwara, T., M. Fukada, H. Cho and T. Endou:Simulation Analysis of Rill Patterns that Develop on Hillslopes, Technology Report of Yamaguchi University, 4(3), p. 247-256 (1989)
１３）藤原輝男・深田三夫・遠藤守彦：リル網発達形態のシミュレーション解析，農業土木学会大会講演会要旨集，p. 260-261 (1989)
１４）藤原輝男・深田三夫・伊藤和洋：リル網形態の数値化に関する２，３の試み，農業土木学会大会講演会要旨集，p. 258-259 (1989)
１５）Fujiwara. T., M. Fukada and F. Motoyoshi:An Experimental Study of the Rill Formation Process on a Bare Slope, Technology Report of Yamaguchi University, 4(4), p. 313-323 (1990)
１６）藤原輝男・深田三夫・本吉文明：裸地斜面におけるリル網の平面形態解析，土木学会中・四国支部講演会概要集，p. 92-93 (1990)
１７）Fujiwara, T. and M. Fukada :Fractal dimensions of rill patterns, In:Development of conservation farming on hillslopes, Soil and Water Conservation Society, p. 251-256 (1991)
１８）藤原輝男・深田三夫・本吉文明：裸地斜面におけるリルの平面および断面形態に関する研究，山口大学工学部研究報告，42(1)，p. 87-95 (1991)
１９）藤原輝男・深田三夫・本吉文明：リル発達過程における平面形態解析，農業土木学会大会講演要旨集，p. 570-571 (1991)
２０）藤原輝男：土壌面リル網のフラクタル的形態と流亡土砂量の関係，昭和63年度～平成２年度文部省科学研究費研究成果報告，一般研究（Ｂ）課題番号 63460214
２１）深田三夫・藤原輝男：裸地斜面に発達したリル網パターンの数値化，山口大学工学部研究報告，40(1)，p. 189-196 (1989)
２２）深田三夫・藤原輝男：リルの平面形態変化と流出土砂量との関係，山口大学工学部研究報告，41(1)，p. 49-57 (1990)

雲仙岳噴火による農地災害復旧対策

長崎県島原振興局農林部　　増崎　一夫

Ⅰ．はじめに

島原半島は、長崎県の南東に位置し、東西約２４ｋｍ、南北約３２Ｋｍで、人の胃袋状をした半島となっており、土地面積４５８．７１Ｋ㎡である。

地形は、標高１，３５９ｍの普賢岳を中心とする雲仙岳山系とそれに連なる緩やかな丘陵地帯と海岸沿いに広がる平野部からなる。

産業構造は、第１次産業３２．９％、第２次産業２１．２％、第３次産業４５．９％で、うち農業就業者２９．３％、サービス就業者１８．０％、と農業と観光を基幹産業としている。

この半島のほぼ中心で有明海から約８Ｋｍの位置にある雲仙普賢岳が、1990年11月１７日、１７９２年以来１９８年ぶりに噴火をはじめてから２年余りになるが、未だ活発な火山活動を継続している。

本噴火災害は、尊い人命を奪うとともに家屋や農地等の計り知れない被害を与えている。

今回は、当被災地域の農地の復旧・復興計画の概要について報告する。

Ⅱ．噴火災害の概要

１．過去の噴火歴の概要

(1) １６６３年（寛文３年）　古焼溶岩が流出し山腹の斜面で停止しているが、その溶岩流の規模は、幅約０．１５Ｋｍ、約５００万㎥

(2) １７９２年（寛政４年）　溶岩が流出し、その規模は幅２２０～３６０ｍ、流下長２．７Ｋｍ、流出量２，０００万㎥である。

１７９２年５月２１日に強い地震が発生し島原市街地の西にある眉山が大崩壊を起こし、有明海に流れ込み津波が発生した。

これにより島原のみならず対岸の肥後（熊本）・天草まで被害がおよび死者１５，０００人を出す惨事となり「島原大変肥後迷惑」と呼ばれる国内最大の地震災害といわれている。

２．今回の噴火の経過

①１９９０年（平成２年）

- １１月１７日：普賢岳山頂付近の地獄跡火口、九十九島火口が噴火、活動は低下

②１９９１年（平成３年）

- ５月２０日：地獄跡火口の中に「第１溶岩ドーム」が出現
- ６月　３日：大規模な火砕流により、４３名の死者並びに行方不明者が出る
- ６月　７日：島原市の一部を警戒区域に設定
- ６月　８日：深江町の一部を警戒区域に設定
- ６月３０日：大規模の土石流により、家屋や農地等に大きな被害が出る
- ９月１０日：北・南千本木町を警戒区域に設定
- ９月１５日：最大規模の火砕流が発生し、おしが谷から水無川を襲い、家屋等が多数焼失、（大野木場小学校焼失）

③１９９２年（平成４年）

- ３月　１日：水無川流域で土石流発生、海まで達し国道２５１号、島原鉄道の線路が埋没
- ８月　８日～８月１５日：大規模の土石流発生
- １０月１５日：溶岩の日噴出量３５万㎥を記録
- １１月１７日：溶岩の日噴出量１３万㎥に減少

④１９９３年（平成５年）

- １月～２月中旬：溶岩の日噴出量は１０万㎥と低下傾向を示す
- ２月　２日：第５溶岩ドームの上部に［第１０溶岩ドーム」が出現
- ２月中旬以降：溶岩の日噴出量３０万㎥に増加
- ３月１７日：第５溶岩ドームの東側に［第１１溶岩ドーム」が出現
- ３月２５日：溶岩総噴出量１５，０００万㎥
- ４月２８日～５月２日：水無川・中尾川で最大の土石流発生
- ５月２１日：中尾川方向へ規模の大きな火砕流発生
- ５月２４日：約１年８ヶ月ぶりに島原市警戒区域拡大
- ６月１８日：水無川・中尾川で土石流発生
- ６月２３日：水無川で土石流発生
- ６月２４日：中尾川方向へ大規模な火砕流発生、死者１名
- ７月　４日：中尾川で土石流発生、島原市孤立
- ７月１９日：水無川で最大規模の火砕流発生、Ｒ５７を１００m越える
- 雲仙岳火砕流、土石流及び警戒区域図は図－１のとおり

３．被害の状況（平成５年７月１９日現在）

①人的被害：死者４１名、行方不明３名、負傷者１１名

②物的被害：平成５年４月２８日以前　住家　４５２棟、非住家　６２７棟

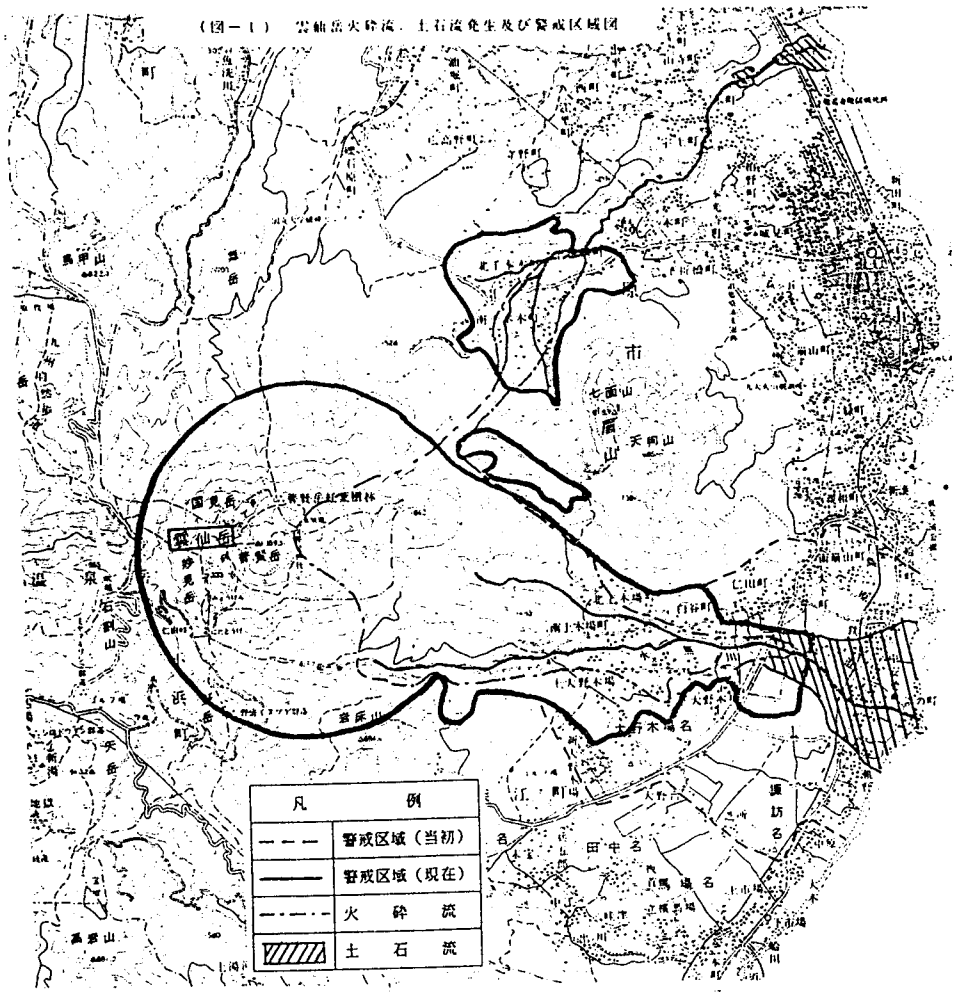
平成５年７月１９日まで　住家　７２４棟、非住家　４２５棟

計　１，１７６棟　１，０５２棟

③被害額　：噴火災害の被害額

（表－１）　（単位：百万円）

区　分	農林水産施設	公共土木施設	農　畜産　物	商　工	その他	計
直接被害	8,761	23,423	12,550	15	2,819	47,568
間接被害	－	－	－	112,826	1,399	114,225
計	8,761	23,423	12,550	112,841	4,218	161,793



4．農業災害の状況

①被災農地面積：被災農地面積は表－２のとおりである

（表－２）

土石流の発生	総雨量	時間雨量	水無川流域　(ha)			中尾川流域
			島原市	深江町	計	島原市
H.5.4.28以前	[illegible]	[illegible]	149	44	193	-
H.5.4.28～29	329	42	10	9	19	3
H.5.5. 2	79	20	20	5	25	4
H.5.6.12～16	320	37				
H.5.6.18～19	340	47	4	3	7	1
H.5.6.22～23	219	35	9	4	13	(40)
H.5.7. 4～ 5	240	29	2		2	14
H.5.7.16～18	171	43	4		4	5
計	1,698		198	65	263	(67)

②農産物の被害状況（警戒区域と半島一円）

- 被害額：１２５億５，０００万円
- 警戒区域内の農作物の被害状況は表－３のとおり

（表－３）　　（単位：ｈａ）

農作物名	水稲	麦	大豆馬鈴薯	野菜	果樹
被害面積	32.6	8.6	33.5	85.5	41.7
農作物名	茶	飼料	花き	たばこ	計
被害面積	49.0	279.9	5.5	205.0	737.3

③避難対象農家の営農再開状況

警戒及び避難勧告区域の設定により、避難された農家が平成５年７月現在で営農再開された状況は表－４のとおりである。

（表－４）

作物名	避難農家（最大）	営農再開（現在）	営農再開率
乳用牛	７７　戸	２５　戸	３２　％
肉用牛	６８	２９	４３
豚・鶏・馬	４８	１８	３８
葉たばこ	１４９	３８	２６
施設野菜	７３	５７	７８
施設花	１１	１３	１１８
果樹	８７	２６	３０
茶	８８	０	－
その他	６６	１４	２１
計	６６７	２２０	３３

Ⅲ．地域農業の状況

島原半島は、土壌、気象等の自然条件に恵まれ土地並びに労働生産性とも高い。耕地面積は、県下の２３％に対し、農業粗生産額は３８％を占める県下随一の

農業地帯である。

しかし、平坦地に乏しく、傾斜地で細分化された耕地が分散し、耕地の６５％は畑地となっている。

このような土地条件のため水田の整備率は県平均の３３％に対し１７％、畑地の整備率は４２％に対し２８％と低いが、反面、土地利用率は県平均の１１０％に対し１３９％と高い。

今噴火災害で直接被害の大きい島原市と深江町は半島の東部にあり、雲仙岳から有明海に向かって扇状に広がる畑地帯である。

土壌は、一般的に耕土が深く肥沃で、かつ、気象も年降雨量２，２００mm、年平均気温１７．９℃と温暖で農業条件に恵まれている。

とくに、水無川周辺の農地は、南東に面し、畜産や葉たばこ、施設園芸等の栽培が盛んな優良畑作地帯で、一戸当たりの農業所得も高いところである。

Ⅳ．土地利用及び営農の現況と計画

１．土地利用の現況と計画

今回の噴火災害で復旧・復興する地域の農地面積及び被災農地面積、砂防施設等で買い上げ用地並びに要整備面積は表－５のとおりである。

（表－５）水無川地域最大警戒区域設定地域内の土地面積　（単位：ｈａ）

	被災前農地面積　①	被災農地面積　②	砂防施設用地　③	要整備面積　④＝①－③
島原市	２２０	１９８	１０６	１１４
深江町	３８１	６５	３５	３４６
計	６０１	２６３	１４１	４６０

2．営農の現況と計画

本地域の農業経営規模は、一戸当たり平均耕地面積は約５０ａ、中核農家は100a程度である。

農家戸数は、高齢化や小規模経営農家の離農に伴い減少傾向にあり、今後、砂防施設の建設に伴いこの傾向がさらに強まるものと予想される。

一戸当たりの経営耕地面積が現況の面積より減少する場合は、施設化を推進することにより高度な集約型で生産性の高い農業を目指す必要がある。

しかも、本地域においては、今後とも相当量の降灰が継続することを想定しなければならなく、そのためにも葉茎菜類の露地栽培は不適と思われ、施設化は必要不可欠なものといえる。

営農類型を大別すると、葉たばこ、野菜、畜産、花きの専業型と野菜、果樹、水稲等を組み合わせた複合型とに区分され、土地基盤の整備とともに農地の有効利用を図る観点から中核農家への農地の集約が推進され、農業機械の共同利用、作物の作付栽培協定等を目的とした生産組織の育成が進展するものと考えられる。

Ⅴ．農地復旧・復興の基本方針

1．復旧・復興の基本方針

復旧・復興計画については、水無川地域について報告する。土石流等により農地とその周辺部を一体的に整備する。

整備は、当初警戒区域に設定された範囲で、砂防施設等に買収される以外の農地を対象とし農地の区画整理と畑地かんがい施設の整備行う。

①直接被災地は、農地・農業用施設災害復旧事業の原形復旧方式と区画整理方式で整備する。

②被災地の周辺の農地は、農地災害関連区画整備事業で整備する。

③最外縁の畑地の区画整備は、県営畑地帯総合土地改良事業で整備する。

④全域の畑地かんがい施設は、県営畑地帯総合土地改良事業で整備する。

2．区画整理計画

本地域の農地は、区画が不整形・狭少で、加えて農道も未整備であるため区画整理を実施する。

(1) 基本方針

区画計画は、営農計画に基づいた高性能農業機械によって能率的に作業ができ、将来の営農方式に対応できる農作業が可能で、さらに、土地生産力の維持増進及び土地の高度利用が可能な区画形状と大きさを確保するとともに農地保全にも配慮する。

(2) 区画形状

区画の形状は、機械作業効率、栽培管理作業、経営条件から標準区画として、長辺75m 、短辺40m の耕区面積30a とする。

(3) 畑面勾配と法面

本地域の土質は、侵食性の高い黒ボク土壌地帯で降雨の際には土壌侵食が起こりやすいことから、畑面の勾配を大きくしたり法面に土羽を設けることは、その侵食を誘発するものであり、できるだけ畑面の勾配は緩く、かつ、土羽部分が少なくなるような配慮が必要である。

また、本地区内には施設栽培用のハウス団地が計画されており、畑面勾配を急にするとハウス内の温度変化が起こり、作物の均等な管理に支障を与え品質の低下等を招くので、０．５％程度とすることにより土壌の侵食防止にも寄与する。

島原半島の農地の畦畔は、自然石を積み上げた野面石積みが多いが、これは火山山麓の限られた土地を有効に利用するため法面の土羽による潰れ地の減少と侵食防止並びに石礫処理等を考慮した必要性が生み出した妥当な方法といえる。

本計画においても農地の畦畔は、法面の侵食防止を重視し現況の石積みによる。

3．道路計画

(1) 基本方針

幹線道路は、地区の中央に広域農道、上流部に国道５７号、海岸部に国道２５１号がある。

支線農道は、ほ場と幹線道路を連絡する道路であるが、今計画では避難道路としての機能も考慮する。

したがって、構造・幅員についても充分勘案して決定する。

(2) 道路幅員：全幅員５m、有効幅員４m

(3) 道路の構造：作物の荷痛み防止と避難道路の機能確保から全線舗装する。

4．排水計画

(1) 基本方針

島原市は、古来「水の都」と言われており、水の豊富な湧水地帯と水無川のような河川の水のない常時干ばつにあえぐ火山山麓地帯とが隣り合わせの地域である。

農業用水源は、主として地下水を利用しており、その取水量からみると深井戸が圧倒的に多い。

昭和30年代中ごろまでは湧水や浅井戸が多かったが、昭和30年代後半から水田や果樹園において深井戸によるかんがいが進み昭和40年代前半にその最盛期となった。

その後は、地下水の過剰揚水による取水量の減少や社会情勢の変化などで常時使用される井戸の開発は少なかった。

このような歴史を持つ雲仙火山山麓にある畑地帯は、厚い黒色火山灰層で形成されており、浸透性が良く降水を浸透しやすい地下水涵養源として重要な役割を

果たしているので、できる限り降水を地下に還元できる形態を維持できるような配慮が必要である。

そのため、排水計画の基本方針は、降雨時の流出水を地下浸透させる排水計画を樹立する。

ただ、支線排水路等のような小さいものは、経済性や維持管理の面から浸透型水路とすることは好ましくない。

よって、幹線的な排水路は、地下水涵養型の構造で計画する。

(2) 排水路の構造

幹線排水路の構造は、法面・底面ともに雑石でライニングし、支線排水路は全てU字溝等のライニング水路とする。

さらに、支線排水路が道路と交差するケ所には雑石でライニングした沈砂池を設ける。

(3) 計画排水量

①計画基準雨量は１／１０の確立雨量とする。

②末端支配流域面積が２０～３０ｈａ以内のほ場内の少排水路や支線排水路においては、４時間雨量、４時間排除により得た降雨強度から合理式により排水量を決定する。降雨強度：４４．４ｍｍ／ｈｒ。

③幹線排水路の計画排水量は、到達時間内平均降雨量による合理式により排水量を決定する。時間雨量：１１２．０ｍｍ／ｈｒ。

④流出係数は、排水区域内の地表面の状態、土質、傾斜等の諸条件により異なるが、次のとおりとする。

・畑　０．７・水田　０．４・山林　０．６・宅地　０．８

・ハウス団地１．０

5．用水計画

(1) 畑地かんがい計画の諸元

畑地かんがいは、当面国道57号から島原鉄道間の畑地について計画し、国道57号から上流については、警戒区域及び避難勧告が全面解除になった時点で計画する。

①日消費量等の計画諸元は表－６のとおりである。

表-6 用　水　諸　元

作物名	面積 ha	消費水量 mm/日	TRAM mm	間断日数 日	1回のかん水量 mm	有効根群深 mm	1日稼働回数 回	1日稼働時間 ha	散水方式 種	作動圧 kg/cm²	散水直径 m	配置 m×m	かん水強度 mm/hr	散水量 l/min	1回の散水時間 hr	配置方式	自動制御
野菜飼料	197.2	2－4	20	5	20	40	6	15.6	30番	2.5	27.3	15×12	8.7	26.0	2.6	一作固定	無
樹園地	22.3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	固定	無
ハウス施設	46.6	〃	〃	2	8	〃	16	13.4	ドリップ	1.0	—	75×1.2	10.0	0.2	0.84	一作固定	無
計	266.6																

インテーク	土壌統	赤井・米神	かんがい	かん水				送水				計				TRAM	土壌統等に
レート	ベーシック	75mm	効率	普	90%	施	95%	普	95%	施	95%	普	85%	施	90%	の計算	現地実測最高値20mm
多目的																	

②水源計画

水源は、既設井戸７ヶ所、新設井戸８ヶ所の１５ヶ所の地下水を利用する。

③水利用計画

用水量は、月別作付けよりピークの７月の水量９，６００m／日とし、施設等の規模もこれで計画する。

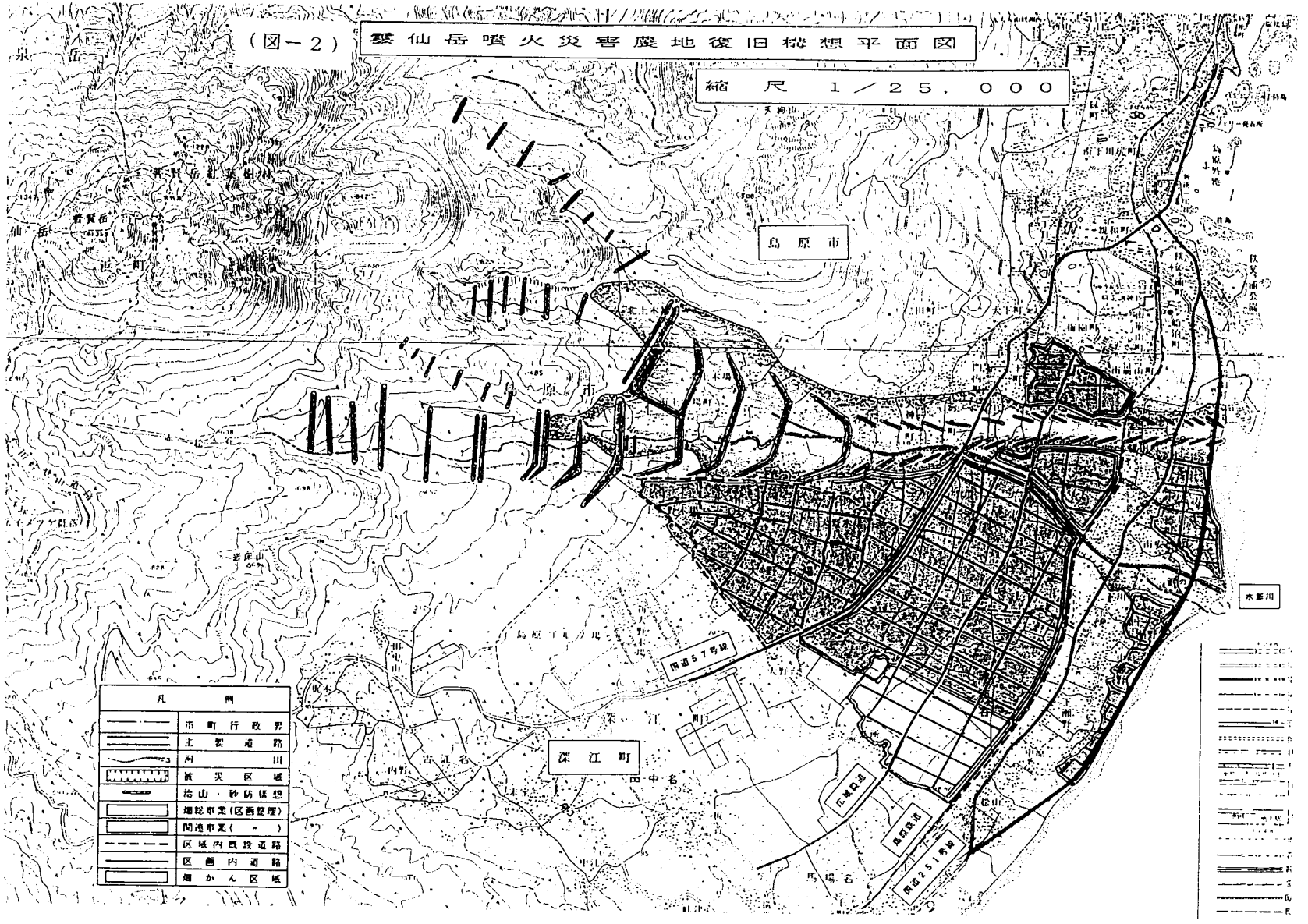
④送配水方式の決定

送配水方式は、経済性を考慮し、配水槽方式と自然流下方式を組み合わせた３段アップ方式とし地区内を３ブロックに分けた送配水組織とする。

6．事業計画平面図

事業計画平面図は図－２のとおりである。

（図－２）


雲仙岳噴火災害罹地復旧構想平面図
縮　尺　１／２５，０００
島原市
深江町
水無川
凡例
市町行政界
主要道路
河川
被災区域
治山・砂防構想
地設事業(区画整理)
関連事業(　－　)
区域内既設道路
区画内道路
畑かん区域

Ⅵ. おわりに

農地の復旧・復興計画については、基本的にはこれまで述べたような計画であるが、地元では被災農家の営農再開の要望が強く、加えて、雲仙岳噴火災害の早期復興の声が高まっている。

しかし、山は、鎮静化の兆しもない中で本格的な復旧・復興はできないが、当面、国道５７号より海までの農地で土石流等の危険の少ない地域から事業に着手することとしている。

今後、実施設計時は、生活環境や景観・生態系等についても地元関係者と充分な検討を加え、より住みやすい快適な農村建設を目指していきたい。

高原畑における営農的農地保全

熊本県農業研究センター　兼子健男
小財　伸

１．はじめに

阿蘇高原は阿蘇外輪山に位置し、標高700～900mで45,000haに及ぶ草地と畜産基地として、また夏秋野菜（ダイコン、キャベツ）産地として本県農業の一大基地を形成している。しかし更新時期をむかえた草地がダイコン農家に貸されているが軟腐病などの病害の発生を防止するため排水のいい傾斜地圃場を利用しており、またダイコン圃場の大部分がクロボク土壌であるため、耕起により土壌は膨軟且つ微粒子となり土壌が侵食しやすい状態で、特に被覆率が低いダイコンの生育初期及び傾斜の急な圃場に侵食の発生が多い。

この場合、土壌管理技術とくに輪作体系や侵食防止対策技術が未確立のまま開畑が行われているので、表土の流出により生産が低下し、数年で耕作を放棄する畑地利用が多い。

これらの問題点を解決するため、草地を保全し低コスト畜産経営を図り、しかも野菜栽培の安定化のための共存できる輪作体系と侵食防止等を柱とした効率的な土地利用技術体系を早急に確立する必要がある。これらの問題点を踏まえて熊本県農業研究センターでは土壌侵食・草地の輪作体系・更新技術及び経営調査まで含んだプロジュエクトを組んで研究を行っており本報では土壌侵食対策の一部について代表として報告を行う。

２．侵食（水食）防止の原則

土地改良事業設計基準「農地保全」の侵食（水食）を防止する原則として表-1の４点を定め、具体的な対策の概要が述べてある。

表-1　侵食（水食）防止の原則

(1)雨水の地下浸透を促し、地表流出をできるだけ少なくすること。
(2)地表流出水の流速をできるだけ少なくすること。
(3)集中する水を安全に流下させせように排水路を整備すること。
(4)土壌の耐食性を高めること。

農家自身による水食防止法を、圃場の栽培管理面からみると、①等高線栽

培、②草生栽倍、③敷草、敷わら、海藻などによるマルチング、④有機物の投入、⑤土壌改良による土の団粒化の促進、⑥適当な輪作及び間混作、⑦深耕などによる雨水の地下浸透促進、⑧適当な排水を目的とした畝切り、⑨危険降雨期の全面耕耘回避などがあり、また、圃場の維持管理面からみると、①グリーンベルト、階段法面などの管理、②法下の溝の整備、③リル、ガリの速やかな修復、④承水路、集・排水路の雑物除去、⑤草生水路の整備、⑥土砂溜めの土あげなどがある。また、過去の営農面での水食防止効果を過去のデータからみると次のことがいえる。すなわち、一般に縦畝よりも横畝の方が侵食量が少ないといえるが、いずれの場合でも、適切な侵食防止対策が必要である。マルチングでは縦畝で1/3～1/6に、横畝では従来より1/4～1/9に侵食量が減少しており、マルチングの侵食防止効果が著しいことが明らかとなっている。このことから、危険降雨期マルチあるいは植生によって裸地になることを防止すれば、受食性の土壌でも相当侵食量を抑制することができるといえる。横畝の場合には、畝の崩壊により生じた流亡土砂は、すべてが直ちに下流に流亡してしまうのではなく、一時的に次の畝との間に堆積して、畝間を次々に埋めていく。このような横畝の侵食特性はマルチングによっていく分軽減されるとはいえほとんど変わらず、同様な流亡状況を呈している。このような横畝の崩壊を防ぐためには、畝に直角方向に畝間の湛水を排出するための排水路を設けるか、あるいは横畝でも若干の勾配をつけて畝間に雨水が貯留しないようにするのが効果的である。と述べてある。[1)]

３．試験地の概要

1)試験地の場所

試験地は平均標高850mの阿蘇外輪山約25,000haの広大な原野の中で大観望より約8km菊池阿蘇スカイラインから斧岳山麓に連なる草原の中に位置する熊本県農業研究センター草地畜産研究所内である。気象条件は外輪山上に位置するため夏期は冷涼多雨、冬季は強風酷寒で年平均気温11C°、最高気温28.5C°最低気温-12C°、降水量（年間）3,095mmである。

2)試験地の雨量強度

試験地の雨量は図-1に示すが年間3,000mmを超し、降雨の大半は5月～8月に全体の50%強を占めている。1991年の6月10日～7月18日までの降雨1,305mmの状況を表-2に示す。この調査期間32日間中、日雨量が100mmを超す日が4日あり、時間降雨量30mm/hrを超える雨は4日あった。

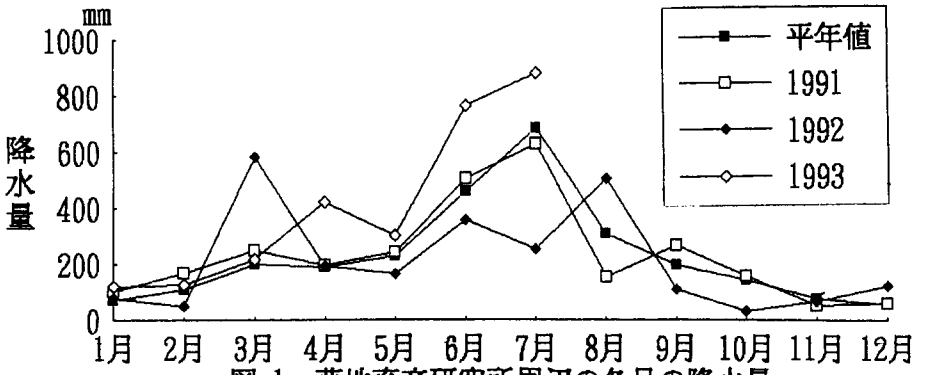


図-1　草地畜産研究所周辺の各月の降水量

表-2　草地畜産研究所の降雨量1991.6.10-7.18

月／日	降水量 mm/day	時間最大 mm/hr	10分最大 mm/10min	降水時間 min	3mm/10min 以上の降雨時間 min/day	3mm/10min 以上の降雨量 mm/day	左記Bの全降雨量に対する割合
	A					B	B/A*100
6月10日	42.0	23.0	7.0	270	40	22	52.4%
6月11日	11.5	3.0	2.5	130			0.0%
6月12日	75.5	12.0	6.5	480	40	15.5	20.5%
6月13日	125.0	31.0	16.0	800	100	55.5	44.4%
6月14日	6.0	1.5	0.5	120			0.0%
6月15日	145.0	31.0	7.5	101	100	45	31.0%
6月17日	21.5	4.5	1.5	340			0.0%
6月18日	1.5	0.5	0.5	30			0.0%
6月19日	31.5	11.5	3.0	280	10	3	9.5%
6月20日	22.0	6.0	3.5	370	10	3.5	15.9%
6月21日	1.5	0.5	0.5	30			0.0%
6月22日	6.0	1.5	1.0	90			0.0%
6月23日	3.0	1.5	0.5	60			0.0%
6月24日	1.0	0.5	0.5	40			0.0%
6月25日	42.5	7.5	2.5	420	10	3	7.1%
6月26日	4.5	2.0	30.0	20			0.0%
6月27日	14.0	4.0	3.5	150	10	3.5	25.0%
6月28日	8.5	7.5	2.5	60			0.0%
6月29日	38.0	7.5	4.0	29	30	14	36.8%
6月30日	224.0	32.5	17.5	990	230	126.5	56.5%
7月1日	57.5	11.0	8.0	560	30	14.5	25.2%
7月2日	41.0	9.5	2.5	400			0.0%
7月4日	125.5	19.0	7.5	740	120	48.5	38.6%
7月5日	33.0	11.5	5.0	260	40	18.5	56.1%
7月6日	2.0	1.5	0.5	40			0.0%
7月7日	20.0	10.5	2.5	150	20	9.5	47.5%
7月12日	21.5	17.0	7.5	100	20	14.5	67.4%
7月13日	66.5	32.5	16.5	150	80	50.5	75.9%
7月15日	61.5	11.5	5.0	440	40	17.5	28.5%
7月16日	38.5	14.5	10.5	200	30	18	46.8%
7月17日	2.5	2.0	1.0	30.0			0.0%
7月18日	11.0	6.5	4.0	50.0	20	7	63.6%
合計	1305.0					490	37.5%

土壌の侵食はある強度以上の降雨によって生ずるといわれ、そのときの強度を限界降雨強度[2)]という。限界降雨強度は、土の性質、表層土の湿潤状態によってもことなるが、一般に2～3mm/10min程度とされている。この強度以上の降雨を危険降雨といわれている。この限界降雨強度3mm/10min以上の雨は19日あり、全降雨量に対する割合は37.5%で、各降雨に対する割合を図-2に示す。降雨量の増加するにつれてその割合を増す。1991.6.30の期間最大の降雨(224.0mm/day)中限界降雨は56.5%の割合であった。

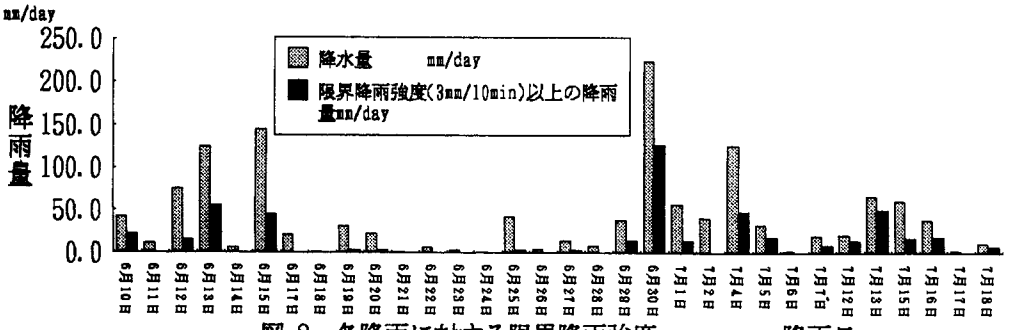


図-2　各降雨に対する限界降雨強度

3)試験地の圃場

試験地の土壌は多腐食質黒ボク土で粗孔隙も多く、透水性は10^{-3}～10^{-4}cm/sec台で比較的良好であり、土性はL～CLである。試験地は1990年5月に設置した。試験地の配置を図-3に示し、形状の値を表-4に示す。各試験区は平均幅8.0m程

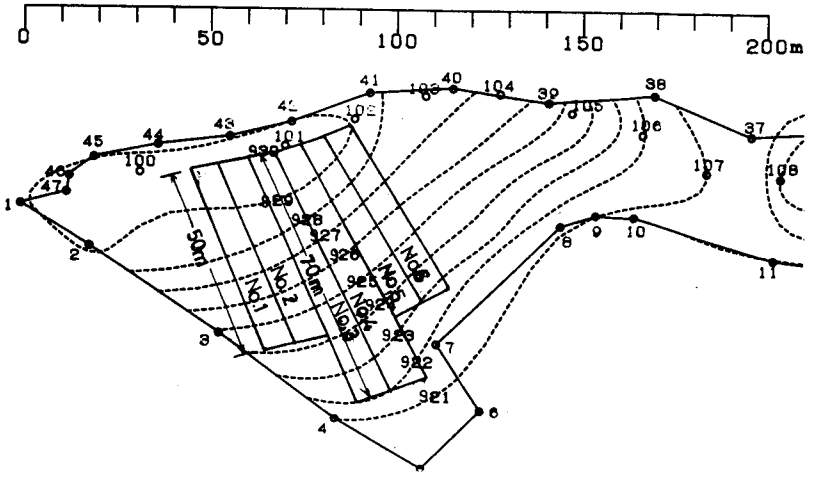


図-3　各試験区の平面図（熊農研ｾﾝﾀｰ　草地畜産研究所　第9牧区）

表-3試験区の形状

試験区	圃場長	高低差	勾配	傾斜角	圃場面積
	m	m		度	m2
No.1	48.5	5.743	1/8.445	6.753	390
No.2	50.0	5.647	1/8.854	6.440	410
No.3	70.0	7.864	1/8.927	6.392	620
No.4	70.0	7.618	1/9.163	6.228	614
No.5	50.0	5.874	1/8.478	6.727	415
No.6	50.0	5.900	1/8.441	6.756	426

度でNo.1、2、5、6は圃場長50.0m、面積400㎡でありNo.4、5は平均幅は8.5m、圃場長は70mで、面積は600㎡程度である。圃場の高低差は50.0m区で6.0m弱、70.0m区で8.0m弱であり、地形勾配は1/9、傾斜角度は7°程度である。

土壌の流亡量を測定するため、圃場の最下流部に2.7m(縦)×1.8m(横)×0.9m(高)=4.374m^{3}の土壌溜木枠を設置し、木枠の入り口に降雨による流出水を測定するため、パーシャルフリュームを設置し、木枠の底部においてフィルターを通して地下に埋設したモミガラへ導きフィルタータイプの吸水管で外部に排出する構造となっている。このため、土壌と混濁した流出水は土壌と水とに分けられて流亡土壌は木枠に堆積する構造となっている。

4．営農的農地保全対策試験

1)雨水を地下浸透を促し、地表流出をできるだけ少なくする対策試験

(1)トレンチャー溝による地下浸透試験

1991年の6月から2カ月間No.1試験区でダイコン播種前に、等高線方向に幅8cm、深さ70cm、間隔2.5mでトレンチャーよる掘削を行い、試験を行った。

その結果を図-4に示す。処理を行った試験区の中でトレンチャー溝区が一番土壌の流出が多く、対照区よりも2倍程度多い結果となっている。この結果が出た原因として、表-3に示す傾斜角度が6.753度で平均より0.2度と大きい影響が考えられるがトレンチャーで掘削した長さが試験区の幅8mの範囲のため、トレンチャーで掘削した溝に雨水が貯留し、この貯留した雨水が地下浸透の速度が遅く土層に浸潤し土壌を侵食したものと考えられる。このためトレンチャーのみの地下浸透の対策は地下の水みちの確保と

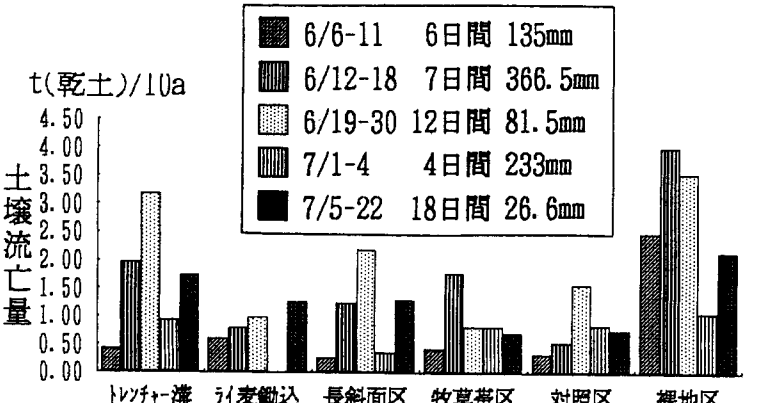


図-4 1991年の各試験区の処理方法と土壌流亡量

十分な流末処理が必要と考えられる。

(2)弾丸暗渠による地下浸透

弾丸暗渠は、トレンチャー溝の対策よりも地下に連続した水みちが確保される可能性があるため1993年5月、No.2の試験区に施工し6月の降雨による影響を調査した。弾丸暗渠は2m間隔に4本施工した。

各降雨に対する各試験区の土壌流亡量を図-5に示すが1993.6.8～17の降雨量438mmにおいて対照区が1.80t（乾土）/10aに対して弾丸暗渠区は0.81t（乾土）/10aと対照区比が45%と大きな効果を示した。

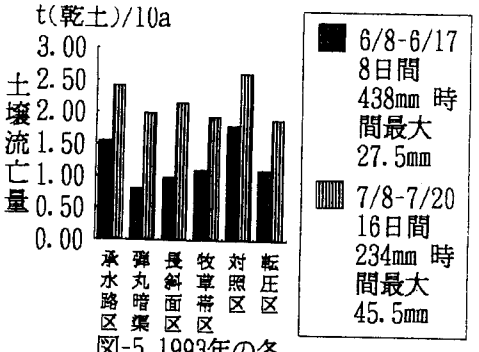


図-5 1993年の各試験区の処理方法と土壌流亡量

しかし、この弾丸暗渠施工区No.2の末端において、7月3日には幅50cm深さ12cm程度のリルが発生し始め、圃場の横方向に発達した。この深さ12cmはロータリー耕の耕起深までででそれ以下には侵食は発生しなかった。この状況を写真-1に示す。

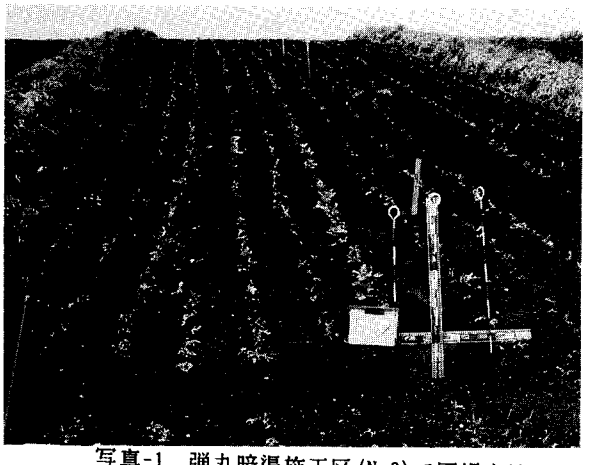


写真-1 弾丸暗渠施工区(No.2)で圃場末端にリルが発生した状況(1993.7.3)

このことは圃場の末端において弾丸暗渠の勾配が緩勾配になっており、また弾丸暗渠の末端を施工したままであったためこの場所で弾丸暗渠を通じて浸透した水が再び地表面に吹き出し周辺の土壌を浸潤してこの箇所の土壌を侵食したものと推察される。このことにより弾丸暗渠の流末処理を十分にしないと圃場の末端にて大きな侵食を起こし、ガリに発達する可能性を示した。7月3日以降、7月8日～20日の234mmの降雨量に対して対照区2.62t（乾土）/10a、弾丸暗渠区1.99t（乾土）/10aで対照区比75%となった。地下に浸透を促す対策はいずれにしろ流末処理を十分に行わなければ逆効果をもたらすことになる。

2)地表流出をできるだけ少なくする対策試験。

(1)牧草帯

この対策として表-1の解説ではグリーンベルトを設ける対策があり、試験地No.4に牧草帯(ｲﾀﾘｱﾝ)を1箇所2mの幅で設けた。1991年の梅雨期の試験結果を図-4に示すが、同規模の対策を行っていないNo.3長斜面区が6月6日～7月22日までの流亡量5.34ｔ（乾土）/10aに対して、No.4の牧草帯区は4.53ｔ（乾土）/10aであり、85%の値であったが、1993年のデータ(図-5)では、その差が小さくなっている。牧草帯区を設けた場所を写真-2に示すが牧草帯より上流は設置する前より上昇し、牧草帯以下では急激な侵食が起こり段差が0.7m程度生じている。

写真-2　No.4試験区で牧草帯を設置してから3年後の状況(1993.7.3)

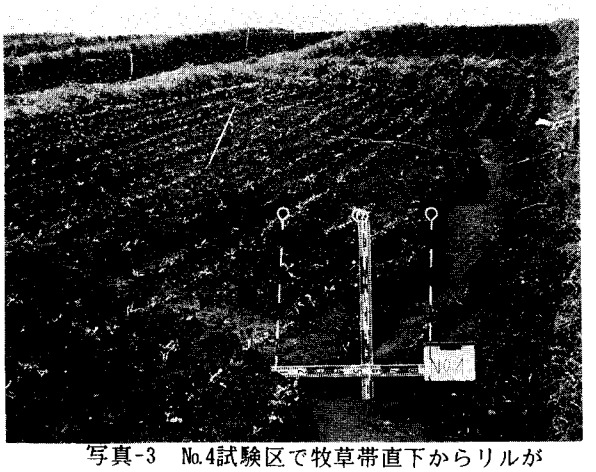


写真-3　No.4試験区で牧草帯直下からリルが発生している状況(1993.7.3)

結果として、牧草帯より上方は侵食に対して防食の効果を発揮しているが、牧草帯より下流では上流からの流出水が1カ所に集まり、リルの発生の原因となる状況を写真-3に示す。その影響で牧草帯置箇所を増すことでその効果は期待できるが、トラクターによる耕起作業が斜面に対して縦方向であり、段差がついてしまうと耕起作業に支障をきたすことになる。横方向の耕起作業はトラクターの転倒の可能性もあり現地では緩勾配の畑でしか行われていない。

3)集中する水を安全に流下させるように排水路を整備する対策。

(1)一般的に農地保全対策における承水路の設置では、コンクリートのU字溝等を設置して利用しているが、耕起作業が行われる畑の中に施工することは困難である。

営農土木[3]的技術を利用した原口・永石らの農地保全のためマサ土に対してセメント2～4%処理や埴土に対して消石灰4～6%処理で効果的な圃場内仮排水路の利用について[4]の研究がある。この技術を参考にし、1992.5にセメント系土壌安定剤を0.4m幅、4kg/mを散布し、管理機で耕起して畑土壌と混合して仮排水路の試験を行ったが水分と締め固め不足でほとんど効果はなかった。このことは火山灰土壌の影響も考えられる。

地元の農家において足跡とトラクター車輪跡による承水路が一定の傾斜の畑で普及し侵食に対した効果を上げている。しかしながら、両者の方法では形状と土壌の締め固め程度において不均一になりやすく不完全さを残す。

以上の欠点を補うため、人力で簡単に確実に作業できる承水路形成ローラを試作しNo.1の試験地に施工した。

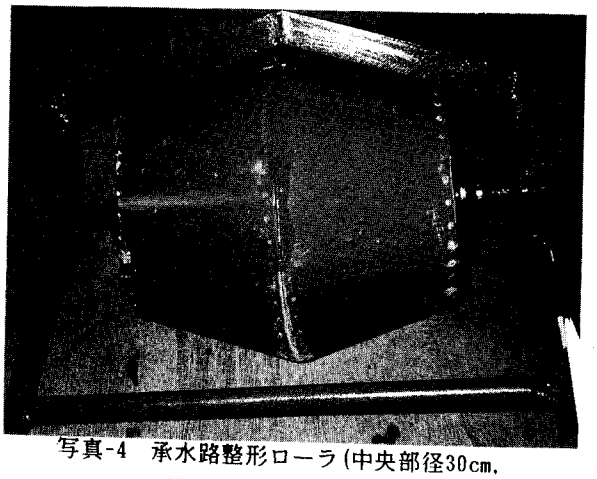


写真-4　承水路整形ローラ(中央部径30cm,
両端径20cm,幅30cm,重量41kg

写真-5　承水路整形ローラ施工状況

この承水路形成ローラを写真-4に示し、施工状況を写真-5に示す。構造は外側がトタン製で内部はコンクリートを充填しており、軸にはベアリングを設置している。

施工は1993.6.1にNo.1試験区の50m区間に2カ所に2回転圧した。転圧した時の土壌の三相分布を表-4に示し、整形された承水路を写真-6に示す。承水路幅30cm、深さ10cmの平らなV字型に整形されている。調査期間を通じて面状侵食は降雨に比例して発生したが、リルの発生は極力抑えられた。また、リルが発生したものの承水路に交差した箇所でリルの発生は押さえられ、流出水は承水路を通じて圃場の両端の集水路に導かれ、圃場全体におけるリルの発生は他の試験区

表-4　承水路整形ローラ及び転圧ローラによる土壌の３相分布

処理方法	試験区	気相	液相	固相
		%	%	%
承水路整形ﾛｰﾗによる処理(底部)	No. 1	22. 6	61. 2	16. 2
承水路整形ﾛｰﾗによる処理(底部)	No. 1	42. 4	45. 5	12. 1
転圧ﾛｰﾗによる処理	No. 2	47. 4	43. 5	9. 1

注）多腐食質黒ﾎﾞｸ土

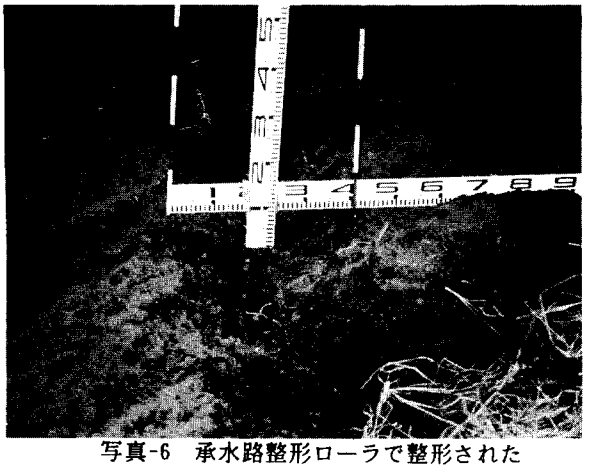


写真-6　承水路整形ローラで整形された承水路

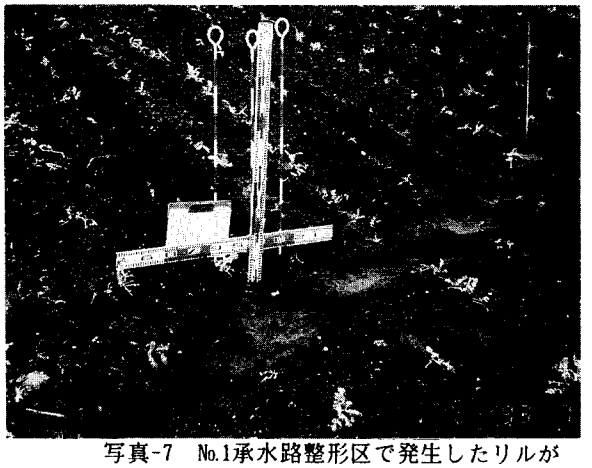


写真-7　No.1承水路整形区で発生したリルが承水路で防止された状況(1993.7.3)

に対して一番少なかった。発生したリルの横断面は写真-7に示すとおり、幅30cm深さ14cmでわずかな形状であった。

しかしながら、承水路による流出水を迅速に排水するためNo. 1の承水路整形区は無処理区を除いた他の試験区より多い土壌の流亡量を示した。これは面状侵食によるもので、図-5に示すが6月8日～6月17日8日間降雨量438mmに対して1.54ｔ（乾土）/10aで対照区に対して86%、7月8日～20日16日間降雨量234mmに対して1.31ｔ（乾土）/10a対照区に対して**91** %の値である。

この承水路形成ローラの使用はリルの発生を極力抑える効果から、ダイコン畑における有力な対策と考えられる。

4)土壌の耐食性を高める対策試験

(1)有機質の投入による効果

侵食に対する有機質の投入は多くの文献で確認されているが、阿蘇近傍においては岩本による大分県飯田高原の火山灰傾斜畑

における裏作ライムギの鋤込みや堆肥増肥の侵食防止効果など確認されている[5]。

No.2の試験区にライ麦を1990年の秋播種し、1991年の春先に高刈りし、土壌に鋤込んで（乾物重310kg/10a）侵食試験を行った。その結果を図-1に示しているが、各降雨に対して一番少ない侵食量を示し、有機質の投入の効果を示している。問題としてライムギの播種、高刈り、鋤込む作業を行う時間と経費が農家にとって可能かどうかの問題が残る。

(2)土壌の転圧による効果

1991年の試験でNo.6試験区の裸地区で土壌をロータリー耕で耕起した状態で放置し土壌の侵食量を図-4に示す。

侵食量はいずれの試験区よりも多く、対照区の3倍強あり、1991,6,6～7,22/1,422mmの降雨量に対して16.12ｔ（乾土）/10aの侵食量があった。裸地区と他の試験区との違いは植生の有無と土壌の転圧の有無である。特に、調査初期において侵食量が多い傾向が見られ梅雨の後半になるにつれて他の試験区との差は小さくなってきている。このことは裸地区における雑草の繁茂による影響もあるが大きな原因として耕起直後ダイコンが播種された箇所が部分的にローラ転圧が行われており、この影響と考えられる。また、梅雨後期における対照区との侵食量の割合が減じてきている。このこと降雨による土壌の締め固めの影響も考えられる。

以上のことから、耕起直後に土壌表面を転圧することで、侵食の防止に効果を果たすことが考えられる。

1992年の試験において、No.4の試験区において写真-8に示すような運搬車の後部に塩ビパイプ（直径25cm）のローラを設置し、転圧を行った。

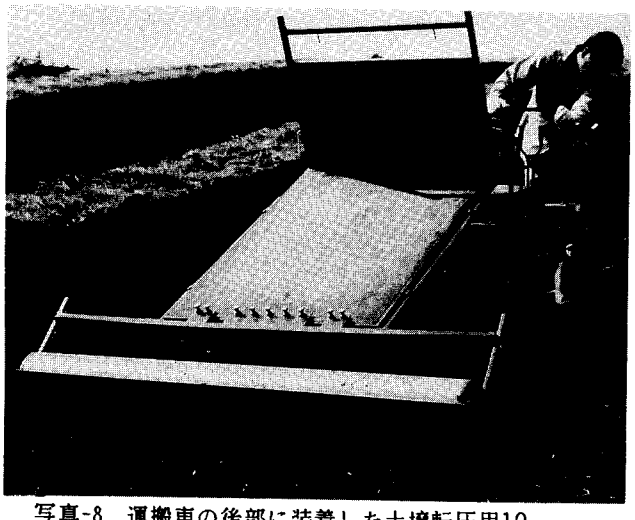


写真-8　運搬車の後部に装着した土壌転圧用ローラでの施工状況(1992.5.14)

この際運搬車の履帯が通過した跡に周囲より転圧が過度に行われ5cm周囲より沈下した。

この年ダイコンの生育は降雨量が例年の50%程度であったため、発芽が悪く写真判定によると平均70%程度であった

が転圧区は85%程度で良好であった。土壌の流亡量の調査を行ったが降雨量が少なかったことと雑草の繁茂に勢いがあったため植生が多く、土壌の流亡はほとんどなく、植生による土壌流亡の防止効果を証明することはできたが、1992年の試験では土壌の転圧による土壌流亡の効果を調査することはできなかった。

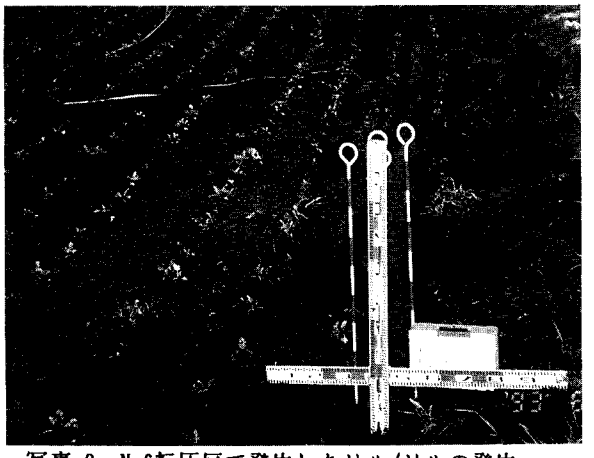


写真-9　No.6転圧区で発生したリル(リルの発生も少なく転圧の効果が出ている(1993.7.3)

1993.5にダイコンを播種直後昨年の運搬車の履帯の影響を考えて、前年使用したローラのみ手動で牽引し、転圧を行った。このときのローラの接地圧は12g/cm^{2}程度である。

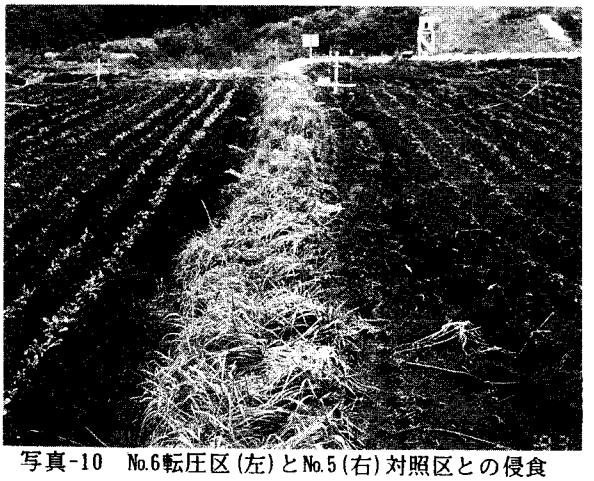


写真-10　No.6転圧区(左)とNo.5(右)対照区との侵食状況とﾀﾞｲｺﾝの生育状況の違い(1993.7.3)

転圧後の土壌の三相分布を表-4に示す。この処理を行ったNo.6試験区の土壌の流亡量を図-5に示すが、6月8日～17日まで428mmの降雨において対照区の1.8ｔ（乾土）/10aに比べて1.11ｔ（乾土）/10aであり、土砂流亡防止効果は62%で、7月8日～20日の16日間対照区2.62ｔ（乾土）/10aに比べて1.89ｔ（乾土）/10aで対照区比72%であった。

また、リルの発生も少なく写真-9で判るように右側に幅20cm深さ15cm程度でたのどの試験区より侵食程度が小さい状況であった。ダイコンの生育状況も写真-10に示すようにその差が歴然としている。

以上の結果から土壌表面を軽く転圧することが土壌流亡に効果があることが判明した。

５．おわりに

本報告はまだ中間報告である。今後、以上の調査結果から、阿蘇高原のダイコン畑における営農的農地保全の対策として播種時にトラクターに装着したローラーで軽く転圧することで土壌表面の耐食性を高め、降雨による流出水を集水路に導く承水路の施工及び承水路と集水路の組み合わせが合理的な営農的農地保全技術として考えられる。また、土壌の転圧とダイコンの生育との関係もまだ解明されておらずこの問題追求する必要がある。

今後これらの組み合わせを検討し、土壌侵食を防止する営農的農地保全対策を確立するためさらに研究を続ける計画である。

7．参考文献

1)農林水産省構造改善局(1979)：土地改良事業設計基準　計画 農地保全、3

2)農業土木学会：農業土木ハンドブック 農地保全・防災　609

3)永石義隆：農業土木学会誌　Vo53 No.12 1036～1038

4)原口・永石：傾斜地における圃場内仮排水路の造成技術について　四国農業試報　No.53　24～45

5)岩本保典：大分県飯田高原の火山灰土傾斜畑における土壌侵食の実体と発生要因の究明　日本土壌肥料学会誌　58,414～419