

条件不利地における農業基盤整備に関する研究

小倉 力*

目次

I 緒言	291	5 結果の摘要	313
1 はじめに	291	IV 東北タイにおける降雨現象の時間的特性把握	314
2 中山間地域における農業基盤整備の重要性	292	1 東北タイにおける降雨の時間配分	315
3 傾斜地における農地工学の諸課題	292	2 東北タイにおける高強度降雨発生の偏り	316
4 東北タイにおける持続的農業実現のための 基盤整備技術開発の必要性	294	3 結果の摘要	319
5 本研究の目的	297	V 条件不利地における農地の保全と農業基盤 整備の意義	320
II 傾斜地水田整備に関連する農地基盤の諸問題	297	1 中国地方中山間地域における耕作放棄と 圃場条件	320
1 圃場整備施工直後の水田の土壌物理性	298	2 急傾斜畑作地域における畑の利活用	321
2 整備後の水田基盤の状態	300	3 中山間地域農地の保全と農業基盤整備技術	322
3 水田基盤の経年的変化	302	VI 結言	322
4 結果の摘要	303	1 研究対象地をとりまくその後の状況	322
III 農業基盤整備に適合した法面緑化技術の開発	303	2 研究結果の概要	323
1 低コスト保護管理工法の開発	305	3 むすび	324
2 追加施肥の草本への効果	307	参考文献	324
3 法面への木本侵入と追加施肥の影響	308	Summary	327
4 法面土壌の物理性変化	312		

I 緒言

1 はじめに

近年、わが国では「限界集落」という言葉が多用されている。限界集落とは65歳以上の人口が50%以上をしめる集落のことをさしており、集落としての共同体機能が低下し集落自体が消滅に向かう危険が大きいと言われている。しかし、限界集落を発生させた過疎化は明治以後わが国の「近代化」において一貫して続いていた現象であり、近年になってにわかに発生した問題ではない。

大正時代、丹後縮緬で繁栄した丹後半島をはじめとする京都府北部では、第二次世界大戦前から「挙家離村」が多く発生していた。挙家離村の結果発生した荒廃農地が新たな挙家離村者を産み出すという悪循環が大戦中からすでに始まっており、残っていた住民の集団離村による廃村という過程をたどる集落が高度経済成長期の比較的早い時期にすでに生じていた(坂口, 1974)。廃村にまでは至らないものの過疎化、挙家離村は後に中山間地

域と呼ばれることになった地域で、この時期から広くみられた現象であった。さらに、高度経済成長期を通じた若年層の流出が高齢化をこの地域に広くもたらすことになった。

中国地方は平野が少なく、その多くが中山間地域に属する。この地方は全国に先駆けて過疎が生じた地域であり(橋本, 1985a)、中国山地には1960年代に、すでに廃村に近い状態となっている集落が存在した(中国新聞社, 1967)。一方、地域の基幹産業の一つである農業は、かつては複雑な地形条件を活かした小規模多品目生産や、畜産、林業等と複合した生産活動が行われていた。しかしながら、地形条件に制約された狭小な区画等の農地条件は、現在の社会経済条件下では不利な条件となり、全般的には農業は衰退の方向に向かっていた。この状況を打開するため、傾斜地水田が多いことが阻害要因となり他地方と比較して遅れていた水田基盤整備や、丘陵地等における農地開発が中国地方の中山間地域でも精力的に進められることになった。

農業のグローバル化が進行する中で、現在の社会経済条件下において農業生産の条件不利地とされることになった地域は日本国内に限らない。特に中進国では、経済発展に伴い国内の地域間格差や産業間格差が開きつつある。タイ東北部の天水農業地域では、かつては森林と

*中央農業総合研究センター北陸水田輪作研究チーム(農工研在職時の最終所属:農村総合研究部水田汎用化システム研究チーム)
平成21年1月10日受理

キーワード:中山間地域, 農地整備, 農地開発, 緑化工, 耕作放棄, 東北タイ, 降雨

水田を土地利用の主体とする自給的な農業が営まれていた。しかし、水稲は雨季の一期作に限られ、国内外の灌漑受益地等と競合した場合、不利な条件となっている。一方、森林を伐採した後の畑において実施されるようになった換金作物のモノカルチャーは持続的な農業生産とは言いがたい。このようにグローバル化に伴い条件不利地が生じる状況は、特定の国だけの問題ではない。天水農業地域のような条件不利地域を、他産業、他地域と較差が生じないように発展させていくことは、多くの国において社会の安定を保つ意味からも重要である。このためには社会経済的政策だけでなく、地域の条件にあった土地、水資源の活用による持続可能な農業体系の構築とそのための技術開発が求められている。

2 中山間地域における農業基盤整備の重要性

中山間地域では、第二次世界大戦前からほぼ一貫した形で人口減少が続いている。農林業はこの地域に共通した産業であり、生活を支える基盤であるとともに、地域の重要な資源である土地資源や水資源は農林業が営まれることによって維持管理されてきた。したがって、兼業化、過疎化、高齢化に伴う労働力の弱体化、栽培面積の縮小は、産業としての農業の衰退を意味するだけでなく、地域全体の弱体化を意味していた。特に農業生産空間の縮小により発生する耕作放棄地は、隣接している農地の耕作条件に悪影響を及ぼし、そこでの農業生産活動の継続を困難にするばかりでなく、近隣住民の居住条件にも影響し挙家離村を促す一因となるともいわれている。これにより、中山間地域の農地では耕境の後退にとどまらず **Fig.1** に示されるように住宅等を含めた農村空間の荒廃や縮小が生じている。

このような事態は周辺部の集落で発生しているだけでなく村の中心集落へと連鎖が生じ、かつて村役場がおかれていたような集落までが廃村に向かっていくという悪循環がすでに 1980 年代には発生し始めていた。

このような連鎖を断ち切るために、農業生産条件の改善、農業の新たな展開の場を求めて、国営の大規模な農地開発事業から、受益面積 10ha にも満たない小規模の団体営の圃場整備事業等まで様々な規模の農業基盤整備事業が中山間地域でも精力的に進められた。また、ため池や農道等の農業に必要な付帯施設の整備も同時に進められた。

農業基盤整備事業を実施した効果として、作業効率向上、労力節減と余剰労力による品目拡大による所得増収効果と、農用地の集団化、流動化の促進が図られたことにより中核農家の営農意欲増大がみられ、厳しい農業情勢の中で多少の希望がもてる状況となったと指摘されている(杉原, 1988)。広島中部台地の新しい農業経営のあり方を求めて(広島県尾道農林水産部広島中部台地総合開発事業所他, 1982)では、農地開発事業の意義として地域開発への寄与、とりわけ就労の場の確保、過疎化の防止があげられている。

このように中山間地域の活性化の方策の一つとして農業基盤整備の意義や必要性は広く認識されていた。

3 傾斜地における農地工学の諸課題

傾斜地における農地の造成、整備は必然的に大きな切盛土を伴う。農地は土そのものを生産目的に利用する特殊な構造物である。そのため、計画、設計、施工にあたっては、農業生産という目的に沿った構造物を造る配慮が重要である。

1980 年前後は水田圃場整備の対象が平坦地から傾斜地へと移行していた時期であった。特に、中国四国地方では水田の 56% が傾斜地に存在し、1982 年度末における 10a 区画以上に整備された水田の割合は全国が 56.3% であったのに対し、中国地方は 27.3% にすぎず、農業基盤整備の遅れが指摘(農業土木学会中国四国支部, 1990)されていた。

傾斜地水田の圃場整備では、大きな切盛土工や法面を



1990 年(左)には管理が行き届いていた農地と住宅が、2007 年(右)には荒廃地と廃屋になり、農村空間から外れている

Fig.1 中山間地域における農村空間荒廃進行情形(広島県東部)
Course of farm village space deterioration in hilly areas

伴った高い畦畔の形成に伴い、平坦地水田の整備とは異なる技術的課題が発生した。この課題については、傾斜地水田整備の本格化に先だつ1968年、農業土木学会の農場整備モデルホ場企画委員会に傾斜地水田部会が設置され検討が行われた。検討結果は傾斜地水田のホ場整備についての報告（農場整備モデルホ場企画委員会傾斜地水田部会、1972）としてまとめられている他、検討過程において行われた一連の研究が、傾斜地水田における農地整備の基礎的研究として報告されている。これらの報告は、先進的な傾斜地水田整備事例をもとにケイハン崩壊（丸山ら、1973；長堀ら、1973a；長堀ら、1973b）、基盤造成（竹中ら、1974）さらには田面沈下（安富ら、1974）等、整備に伴い水田基盤において発生する問題を予測し対処技術の開発を行った研究であった。

しかしながら、実際に整備を行った傾斜地水田においては、平坦地ではみられない問題が新たに発生した。基盤の切盛りを伴う傾斜地水田の圃場整備では、湧出した伏流地下水が工事施工と整備後の営農に支障をきたしており、湧水処理のためには整備後数年間の手直し期間が必要であると指摘されていた（永石ら、1985）。また、傾斜地水田では作土が浅く基盤が石レキ層となっていることが多く、この場合作土への石レキ混入の発生がみられた。この石レキの除去が圃場整備の良否の判定要素となると指摘されていた（北浦ら、1986）。1980年代前半に圃場整備を行った中国地方中山間地の傾斜地水田では、田植機により移植された苗の欠株が発生していた。この部分には田面から5cm以内に多数の石レキがあり、欠株はこの作土に混入した石レキが原因とみられた（小倉ら、1983）。また、整備後各耕区内中央部の水稻が過剰生育となる現象もみられ、中にはFig.2に示すように倒伏にまで至る場合があった。

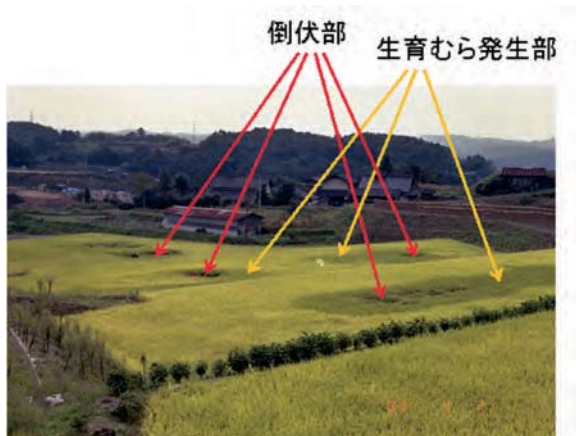
この現象について耕作者等から、耕区中央部の過剰生育発生部分は、圃場整備施工期間中に表土の区画内集積場として利用されていたいわゆる「置き土」部であるこ

とが指摘されていた。この「置き土」部では、整備直後に地耐力不足のためトラクターが沈むという事態も発生していた。また、同様の原因で田植機がスリップし、「置き土」部の栽植密度が高くなる現象も把握されていた（根本ら、1983）。耕区中央部における、水稻過剰生育現象や地耐力が低い状況は、整備後1作目の圃場だけではなく、2作目以後の圃場でも継続して発生していた。このような傾斜地水田の整備に伴う技術的問題のメカニズムやその影響について解明が求められていた。

水田の整備と並び、中山間地域の活性化に畑の造成整備は重要な要件であった。新規に畑を造成する農地開発事業においては、造成畑の熟畑化が課題となっていた。1980年代の農地開発事業は改良山成畑工法が主に採用されていた。この工法は営農計画に合わせた緩傾斜の整形区画圃場を造成することが可能（須藤ら、1980）な優れた工法であった。しかし、切盛土工により有機物が殆ど含まれていない心土や土壤化作用を全く受けていないせき薄な風化岩等が表面に露出し、これを農業に適した土に改良する必要があった。中国地方では開発適地の地形条件のところは風化花崗岩残積土からなるいわゆるマサ土地帯が多く、造成後の熟畑化はとくに大きな課題となっていた。このため、マサ土の造成農地の熟畑化過程について、土壤物理性の面から検討を行った。その結果、牛糞等を投入しながら飼料作物を生産した場合、開畑後1～2年で三相分布等の土壤物理性の改善は認めることができた（岡ら、1982）が、作物の飼料用トウモロコシ生産向上に結びつくほどではないことが明らかにされた（塩谷ら、1983）。

また、改良山成畑工法は、環境汚染の問題も重要課題とされており、水食防止のための深耕、排水路網・沈砂池の整備とともに種子吹付工を含む法面保護工等が防災計画の基本（小出、1977）と指摘されていた。1977年に農林省が制定した計画基準（農林省構造改善局、1977）では、高度の機械化営農を可能とする圃場の勾配を $0\sim 8^\circ$ としていたが、実際の農地造成の設計にあたっては営農と農地保全の両面に配慮し、勾配を $2\sim 3^\circ$ とすることが一般的となっていた。しかし、圃場の緩傾斜化は必然的に法面面積を増大させることになった。

農地の法面保全は新規造成地、既存農地の整備地ともに通常緑化工によって行われる。法面緑化工は、道路建設、宅地造成などに伴って技術開発が進められ、その結果、土壌、気象条件等に応じた緑化技術が開発されてきた。農地開発事業が盛んであった1980年代には、技術的には傾斜角 60° 以上の急勾配を除く法面には植物を永続的に生育させることがほぼ可能となっていた（安保、1983a）。しかし、種子が付着できる勾配は 33° 以下（木田1976）、植生工だけで永続的に植物を生育させられる勾配は1割5分（約 34° ）以下（小橋ら1975）といわれており、これより勾配が急な法面で確実な緑化を行うには、表面を安定させる何らかの緑化補助工が必要とな



各耕区中央部には倒伏箇所が発生

Fig.2 圃場整備後の傾斜地水田に発生した水稻の生育むら
Uneven growth of rice in stepped paddy field
immediately after land consolidation

る。そのため、急傾斜の法面を植物生育に適した状態にするための緑化補助工の技術開発が行われ、さらに、厚層基材吹付工法等、植物生育基盤そのものを播種と同時に施工していく技術が開発されてきた。この結果、勾配や土壌等の法面の条件や、施工後の気象条件等にかかわらず法面緑化を可能とする工法が確立されてきた。このような工法は、目的とする植生を短期間に確実に構築することが可能な反面、種子散布工による植生工を単独に施工する方法などと比較して施工単価は上昇する。このような日本の法面緑化技術は、世界的に見て高水準にあると言われていた一方、あまりにも高価すぎて他の国では採用されないだろうとまで指摘（星子，1996）されていた。

さらに近年では、施工後短期間での生態系回復を目指し、郷土種の草本や木本を植生工施工当初から導入する技術の開発が進められている。木本類の法面への侵入については防災、景観、植生遷移上有効であることが知られている（吉田ら，1992）。このため、郷土種木本類を用いた播種導入技術が開発され、早期樹林化技術が徐々に確立されつつある（杉本，1994）。また、木本と外来草本とを混播して複合群落の造成を検討したり（吉田ら，1992前出）、法面条件に応じ、盛土法面だけでなく切土法面も樹林化する手法が高速道路等において確立されつつある（宮下，1998）。さらに、勾配8分（約51°）の切土法面への木本導入が可能な技術の開発（駒走ら，1997）も行われている。

農地開発事業においては、道路や宅地造成で開発された厚層基材吹付工法等の緑化が確実に期待できる工法の採用は農道法面等に限られ、農地周辺の法面には植生工として種子散布工が採用される場合が多かった。さらに農地周辺の広大な法面では、緑化工の正否を左右すると言われる施工後の保護管理（寺崎ら，1976）が十分に行われなかった場合が多かった。このため、農地開発地では管理が行き届き作物が育った緑色の農地と、緑化が不十分で裸地のままの法面とが対照的なコントラストを呈する光景がいたる所でみられた。さらに植生による被覆が不十分な法面では Fig.3 に示すように侵食の発生もみられた。

農地開発において、道路建設や宅地開発に伴って開発されてきた高コストの法面緑化工法を導入していくことは必ずしも現実的とは言えない。また、植生の成育状況や気象状況に応じたきめ細かい保護管理を行うことも同様である。比較的低コストの緑化工法を導入して、時間をかけて農地及び周辺双方の環境と調和した安定植生を最終的に法面に成立させることが望ましいと考えられる。このため、農地開発事業等の実情に適合した低コストの緑化工技術の開発が求められていた。

農地基盤整備技術の開発とあわせ、その対象となる農地について、維持していくために備えるべき圃場条件を考える必要があった。平坦地と異なり中山間地域では、



法面では侵食が発生している

Fig.3 農地開発地の裸地状態の法面（広島県）
State of bare slope in reclaimed land

農地の勾配、区画形状等の条件は各圃場毎に異なる。このため、維持していくことが困難となった農地および利用が継続されている農地、さらに農地貸借等により積極的に活用されている農地について、団地や集落単位ではなく、できる限り圃場各区画に近い単位の圃場条件を求め、農地の利活用との関連を検討することが求められていた。

4 東北タイにおける持続的農業実現のための基盤整備技術開発の必要性

前述のように、農業のグローバル化に伴い、中進国においても農業生産上条件不利地とされる地域が発生してきている。タイ国は近年経済成長が著しい。その中であって天水農業地域である東北部は国内で最も開発が遅れた地域とみなされている。熱帯の灌漑農業地域では年3作以上の水稲作が実施されるのに対し東北タイの天水農業地域では水稲作は雨季1作に限られる。また、乾季は通常降雨のない日が続く農地利用は大きく制約される。この地域の開発上の問題点として不規則な降雨が土壌の低肥沃性とともなげられている（国際協力事業団，1991）。東北タイの農業阻害要因としては、他に塩害が知られているが、塩害の発生は東北タイの一部に限られるのに対し、降雨は東北タイ全域の問題である。天水に依存している地域において安定的な農業生産を行うには、不規則な降雨はきわめて不利な条件である。そのため、現金収入を求めバンコク首都圏等へ出稼ぎに出る農民も多く、さらに近年は労働力を求めて東北タイへの企業進出も増加しているため労力の競合も生じている。この状況は高度経済成長期に、わが国の中山間地域が通ってきた状況に類似している。

東北タイ農地面積中66%は水田であり（土屋，1996）、その大部分が天水田である。東北タイの年降雨は1200～1400mm以上であるが、雨季に偏在している。乾季中の降雨はきわめて少なく、灌漑受益地以外では、水稲作は雨季1作に限られ、栽培可能な畑作物も限定される。雨季の始まりと終わりは不定期であり（和田，1997）、

水稻栽培に重要な雨季前半の5、6月の降雨量変動が大きく(林, 1991), この時期に確実に降雨を得ることができない。また, 雨季の中頃に現れることがある小乾季が長期間に及んだ場合は移植が困難となり, 雨季が早く終了した場合は干ばつが発生する。東北タイの不規則な降雨については, 以上のように天水に依存する地域の水資源利用上の問題点として主に検討されてきた。

豪雨は, 農地の侵食や冠水等の災害をもたらす反面, 天水地域における農業用水, 生活用水を得る貴重な機会である。豪雨をはじめ降雨現象の特性把握は, 農業生産だけでなく生活安定, 防災技術確立に必要な事項でありながら, 熱帯天水依存地域の降雨について10分間あるいは1時間を単位としてみた場合の短時間の時間的偏在については十分に検討が行われていない。

熱帯の対流性降雨は強度の大きい雨が狭い範囲に短時間に集中して降る。東北タイはコラート台地と呼称される標高200m前後の台地が大部分を占めている。東北タイは約50%が森林で覆われていたが, 乱伐により13%に減少し, その後は地力収奪型の畑作が継続された(岡, 1996)。台地内最上流の小流域を見た場合, 雨季であっても表面流出の発生は降雨後に限られている。したがって, 水田の代かきや田植は自流域内に降雨がない限り実施できない。このため, 移植可能時期前の降雨パターンによっては, Fig.4に示すように雨季であっても水稲作付ができない水田が発生する。さらに, 前述のような農村からの労働力の流出により, 不安定な降雨に日程が左右される代かき, 田植え等の労力確保が困難となっている。

一方, 安定的な水資源を確保するためのダム建設等を伴う大規模な灌漑事業は, 台地状の地形条件からダム建

設適地が少ないことに加え, 住民の権利意識が高まり環境への影響等も考慮されるようになった現在では進捗が困難となってきている。そのため, 従来から個人や公共機関等により多数のため池が建設されてきたが, 今後は小流域内の水資源をさらに有効に利用する栽培技術や利水技術の開発が必要とされ, そのためには降雨現象について, 年間を通じた降雨量の変動の解析等だけでなく, 短時間でみた場合の降雨特性の把握が必要である。

また, 東北タイには受食性の大きい砂質土が広く分布している。高強度の降雨は土壌侵食の誘因となる。土壌侵食は侵食域の農地の荒廃をもたらすだけでなく, 流出した土砂がFig.5に示すように下流域の農地やため池に堆積する等, 流域全体の荒廃を引き起こしている。また, 侵食は換金作物を生産する拠点である畑だけでなく, Fig.6に示すように主食を生産する場である水田でも発生している。農地保全を考えていく場合も, 短時間の降雨特性の解明は重要である。

この地域の農業は1960年頃までは自給的要素が高いものであったが, 1960年代以後, 森林伐採後の畑において商品作物の生産が行われるようになり, 主要な作物はケナフ, キャッサバ, サトウキビとめまぐるしく変遷し(岡, 1996 前出), 現在ではサトウキビとキャッサバが多く生産されている。一方, 水田では主食のコメの栽培が継続されてきたが, その生産は降雨に左右される。また, タイ国内で最も貧しいと言われるこの地域の住民は収入を求めて出稼ぎ等に出る場合も多い。日本の中山間地が現在直面している住民の流出, 地域社会の崩壊というような状況には現在のところ直面していないが, 安定的な地域社会を維持していくためには, 持続的な農業生産により収入の確保をはかる必要がある。そのために



高位にある圃場はイネが栽培されていない

東北タイ Khon Kaen 県 Nong Saeng 村

Fig.4 雨季に作付されなかった水田
Non cultivated paddy field during rainy season



東北タイ Khon Kaen 県 Nong Saeng 村

Fig.5 畑のガリ侵食と水田への堆砂
Gully erosion of upland field and sedimentation of paddy field



東北タイ Khon Kaen 県 Nong Saeng 村

Fig.6 水田畦畔侵食と水田圃面に発生したガリ
Erosion of dike and gully erosion on surface occurred in paddy fields

は、域内の土地、水資源を有効に活用した農業生産を行う技術の開発が不可欠である。

東北タイは西部の中央タイとの境界、南部のカンボジア国境および北東部の一部に山地がある他は、大部分の地域が台地状の地形となっている。また、流域としては主にメコン川水系に属し、東北タイにおけるメコン川支流の2大河川チー川およびムーン川の分水界も大部分は小起伏の台地上にある。この台地上は谷沿いの比較的標高が低いところは水田、尾根側は畑となっており、サトウキビ、キャッサバの他、近年サトウキビの間作として雨季に陸稲が導入されている。水田の大部分はいわゆる天水田で、自流域以外の降雨以外に水源を持たない場合が多い。また、集落は集村形態をとり、農地は集落周辺だけでなく3、4km離れたところにある場合も多い。そのため、農家は農地に出作り小屋を建て、オートバイや耕耘機トレーラー、馬車等により通作している。

この地域では大小様々なため池が多数建設されている。天水農業地域における土地・水資源の効率的な利用を図るために行った東北タイ中央部の Khon Kaen 県 Nong Saeng 村内の2小流域を対象とした調査の結果で

は、調査流域では2000年7月現在で、1流域では最上流のため池から2000mの間に24個、別の1流域では1500mの区間に16個の池が確認されたが、その後も継続的にため池の新設が主に農地を掘削して行われていた。一方、豪雨時には上流側の農地で侵食が発生し、流入土砂によるため池の埋没が発生しており、管理上問題を生じているばかりでなく、貯水機能を喪失したため池も発生していた。この小流域では、ため池は雨季水稲作への補給、雨季、乾季における水稲以外の作物への灌漑の他、養魚等に利用されていることが、聞き取りにより明らかにされたが、さらにため池周辺の土地利用を調査した結果、果樹等の周年栽培の作物が栽培されている池が16、乾季に野菜が栽培されている池が10あり、ため池が農業の複合化に貢献している実態が土地利用の面からも明らかにされていた(小倉ら、2001)。水資源の状況については、ため池の貯水は雨季に入った後も減少しない維持傾向であったが、水位上昇は雨季の中頃以後に生じていた。水位上昇開始までの降雨を検討した結果、雨季の始まりからの累積雨量は一定ではないものの、上昇開始前には週間100mm以上の降雨があり、累

積雨量よりも直近の降雨に影響されていた。また、降雨が連続しない限り貯水量は維持されない。乾季の減水深は平均 7 mm day^{-1} 程度である。また、この地域には地下に Sandy loam または Sandy clay loam 層が存在し、この層の上には乾季でも浅層地下水が存在している。地下水位は乾季末期においても、谷底にある低位水田で 60cm、谷底から台地上に向け谷の横断方向に 3 段目以上の水田と定義した高位水田でも約 150cm であり、乾季に掘削したため池の掘削法面には、地下水が現れる（小倉ら、2007）。

Nong Saeng 村 2 調査流域の水田各区画毎の湛水率および作付状況を定期的に調査した結果では、各年の最大湛水域率は低位水田では 80% を越えていたのに対し、高位水田は 60% 程度であった。湛水期間も短く、高位水田は貯水という水田の基本的機能を持っていると言いはない。各年の水稲の最終的な作付率も、低位では毎年 90% を超えるのに対し、高位では作付されないまま雨季を終える水田も多く、利用状況からもこの地域の高位水田は水田として十分に機能していないことが示されていた（Ogura C. *et al.*, 2005）。2 調査流域のうち 1 流域において行った聞き取り調査の結果では、水不足は水稲減収の大きな要因とされている（J. S. Caldwell *et al.*, 2002）。

各年の降雨条件の相違により、ため池貯水の増加、水田の湛水域の割合、水稲作付の進展は異なる（小倉ら、2005）。したがって、降雨パターンの特徴を明らかにしておく必要性は大きい。また、豪雨時に発生する土壤侵食も降雨量ではなく降雨強度の大きい雨の降り方に影響されるところが大きく、これらの出現については発生時間帯等を詳細に見た検討を行う必要があった。

5 本研究の目的

わが国の中山間地域では、それぞれの地域の土地資源や水資源を活かした農林業が営まれてきた。土地資源の重要な構成要件である地形を例にとれば、阿武隈山地西部のような小起伏の山地では、樹枝状に伸びている谷を水田として利用し、南向きや東向きの緩斜面を普通畑として利用していた。また、東頸城丘陵の地滑り地は水田としての利用に適しているため、水田率が高いだけでなく、農地率そのものも高かった（青野ら、1967）。一般に農業には適さない大起伏の山地でも、地質条件によっては傾斜 40° を越える南向き斜面を樹園地や普通畑として利用していた。このように中山間地域では各地域の特性を活かし、小規模ながらその場所の条件にあった作物の生産と、畜産との複合経営、薪炭等の特用林産物生産を含めた林業とも複合した生産活動が行われてきた。

しかしながら、わが国の近代化が進む過程において、産業構造が第一次産業から第二次産業、第三次産業中心へと変化し、それらは平坦地やそこに主に所在する都市に立地した。そのため、地域の特性を活かした小規模多

品目生産という特性を活かすことが出来ないばかりでなく生産物の市場からも離れた中山間地域は、農業の規模拡大や低コスト化の方向に対し、相対的に条件不利地域として扱われるようになった。

また、中進国においても農業は国際競争にさらされるとともに、国内での地域間格差や他産業との所得格差等が拡大してきている。明瞭な乾季を伴うタイ東北部の天水農業地域は、熱帯に位置しながら水稲作は雨季一期作に限られ、灌漑受益地等と生産性を比較した場合不利な条件となっている。この地域では雨季の降雨も不規則なため、天水田の水稲生産も安定しない。このため、農民は所得を求め、出稼ぎ等の形で他産業に移動する等、わが国の中山間地域において生じてきた現象に類似した状況もみられるようになってきた。東北タイが抱える問題は、気象条件等が重なる天水農業地域を抱える国や地域において、経済発展に伴い今後も共通して発生してくる可能性が大きい。このため、天水農業地域における地域内の資源を活かした持続的農業技術の開発を進めていくことは、同様の条件にある地域の均衡ある発展に広く寄与することになる。

本論文は、以上の背景にもとづき、国内外において、現在の社会経済条件下において条件不利とされている地域の持続的発展のため、農地の整備、開発、保全技術に関連した研究を行った結果をとりまとめたものである。

本研究の遂行にあたっては、根本清一農林水産省中国農業試験場生産環境部主任研究官、古谷保農村工学研究所農地資源部長、原田節也中国農業試験場総合研究第 1 チーム長と後任の工藤清光チーム長、安藤益夫主任研究官（肩書きはすべて当時）外多くの方々の助言と協力を頂いた。また、タイ国においてカウンターパートとしてともに調査にあたった農業協同組合省土地開発局ソムサク スクチャン氏、とりまとめにあたり多くの指導と助言を頂いた三重大学大学院生物資源学研究所成岡市教授に深い感謝の意を表す。さらに、長期間にわたって圃場への立ち入り調査を快く認めて頂いた農家の方々の協力なくしては本研究を実施することは出来なかった。ここに改めて感謝の意を表す。

II 傾斜地水田整備に関連する農地基盤の諸問題

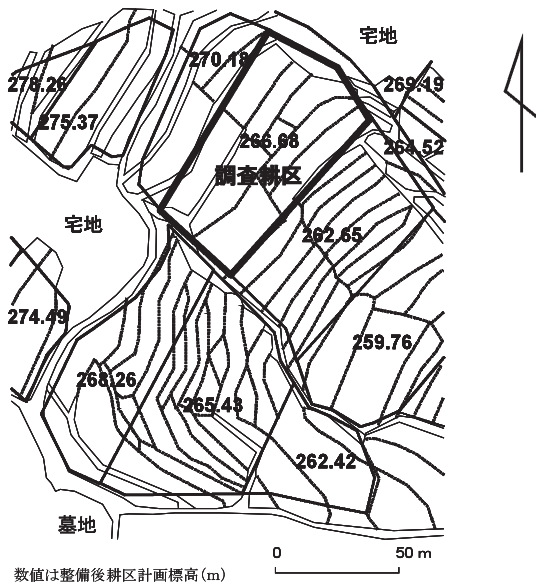
傾斜地水田整備に関する研究は、切盛土を伴う施工が、水田基盤および表土の物理性に与えた影響とその長期的影響について検討を行った。調査は主に広島県北部で 1976 年から実施されていた県営農村基盤総合整備パイロット事業地区内で行った。

この事業は 1976 年から 1995 年まで実施され、688ha の圃場整備およびかんがい排水、農道整備等が行われた。重点的な調査は 1982 年に通年施工により施工された耕区において行った。この耕区は Fig.7 に示すような山麓斜面にあり、地質は第三紀の備北層群の泥岩である。



国土地理院発行
2万5千分1地形図永田使用

Fig.7 調査耕区周辺の地形条件
Terrain condition surrounding survey field lot



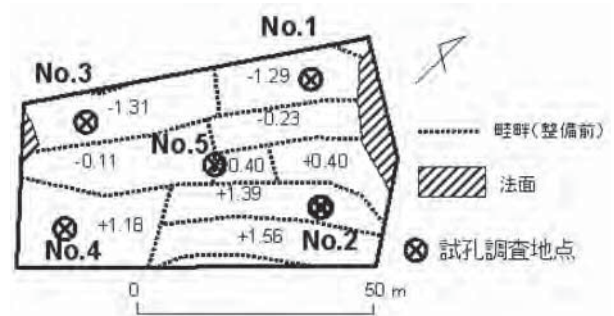
数値は整備後耕区計画標高(m)
実線は整備後の耕区 破線は整備前の区画を示す

Fig.8 調査耕区周辺計画図
Plan of consolidation around survey field lot

Fig.8 に示すように耕区は斜面内の谷地形の部分に位置し、谷線勾配は1/7 ~ 1/10である。整備後の耕区は約70 × 40mの不等辺四角形で、隣接する耕区との標高差は約4m、切盛りの状況は Fig.9 に示すようにそれぞれ最大1.5m程度である。整備後の1耕区には旧区画が9筆含まれている。施工中の表土扱いにあたって当時一般的であった区画内集積方式が採用され、Fig.10 に示すように、計画耕区中央部の切盛高の小さい部分が集積場所として利用されていた。

1 圃場整備施工直後の水田の土壌物理性

傾斜地の圃場整備は、必然的に切盛土工を伴う。このため、長期にわたる水田利用によって形成されてきた土壌構造は整備に伴い大きく攪乱されることになる。このような攪乱を受けた整備直後の傾斜地水田の表土および



数値は計画切り盛り高(m)
完工時は北東側畦畔は直線

Fig.9 調査耕区(計画時)
Survey field lot (planning)



調査耕区の下側隣接区、一般には1耕区の「置き土」は1カ所

Fig.10 圃場整備施工中の「置き土」の状況
Storage of surface soil under consolidation

基盤の状況を把握するため、圃場整備完工後の水田の深さ約50cmまでの土壌について土壌物理性を中心に調査を行った。また、整備前にも予め土壌調査を行い状況の把握を行った。調査は、Fig.9 に示した整備後の耕区内のNo.1 ~ No.5の5調査点において実施した。表土戻しが行われた直後1982年11月に試坑調査を行い土壌断面の層序、土色、硬度、結核、レキの状況を調査すると

もに、各層から 100cc 円筒により試料を採取し三相分布、粗孔隙 (pF 1.5)、飽和透水係数等の土壤物理性を測定した。また、あわせて試坑調査点付近でSR-II型コーン貫入抵抗試験器を用い貫入抵抗値を測定し地耐力を求めた。また、圃場整備施工直前の調査は、1982年4月に耕区中央のNo.5調査点を除く4調査点で行った。

整備工事前後のNo.1～No.4の4調査点の深さ50cmまでの土壌断面をFig.11、地耐力をFig.12、土壤物理性測定結果をTable 1にそれぞれ示した。

Fig.11に示されるように、整備前の各調査点の表土にあたるI層の厚さは17～19cmであり、土色は灰黄褐色から褐灰色であった。耕盤にあたるII層およびその下の地盤の土色は調査点毎に異なっており、土壤生成に影響を与える微地形や地下水の条件等が調査点毎に異なっていたものと考えられる。また、断面には糸根性の酸化物の沈積が耕盤だけでなく地盤にまでみられた。地耐力はFig.12に示されるように、耕盤の下、地表から30～40cmの地盤の場合、谷線に近いNo.1、No.2調査点では $5 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5$ Paと小さく、特にNo.2点では耕盤でも 7×10^5 Pa程度であった。これに対し小さな尾根の山腹に位置するNo.3、No.4調査点では、表土より下の地耐力は深度とともに一方的に増加していた。Table 1に示した土壤物理性では、表土と耕盤とは固相率に10%以上の差があり、粗孔隙率でも明確な差がみ

られた。また、透水係数においても、表土では、 $10^3 \sim 10^2 \text{ cm s}^{-1}$ 台であったのに対し、耕盤では調査点により $10^6 \sim 10^4 \text{ cm s}^{-1}$ 台、それより深い地盤では $10^4 \sim 10^3 \text{ cm s}^{-1}$ 台を示しており長期間の水田利用により形成された耕盤形成等、水田の特徴が表れた断面構造となっていた。

これに対し整備直後では、No.1～No.4調査点における表土の厚さはFig.11に示すように22～28cmの範囲となっていた。表土層より深い基盤部分については各調査点とも、耕盤と地盤の分化はなく、盛土が行われたNo.2、No.4の2調査点では、明黄褐色のレキが混入していた。このレキは手で容易に押しつぶすことができた。このレキの色はNo.3調査点の整備前の54cm以下や整備後の切土法面の土と同色であり尾根部の地盤の土であったと考えられ、この土が盛土の中にレキとして混入したものと推定された。また、整備前の断面にみられた酸化沈積物は消失していた。地耐力は切土のNo.1調査点は地盤部分は 25×10^5 Paを越えていたのに対し、盛土のNo.4の調査点は20cm以深でも 5×10^5 Pa以下であった。土壤物理性においては、Table 1に示したように表土の固相率は各調査点とも50%前後、基盤では60%前後を示し、表土では粗孔隙率も著しく低下していた。また、飽和透水係数はNo.1地点の15～20cm深を除き表土、基盤とも $10^7 \sim 10^6 \text{ cm s}^{-1}$ 台となっている。

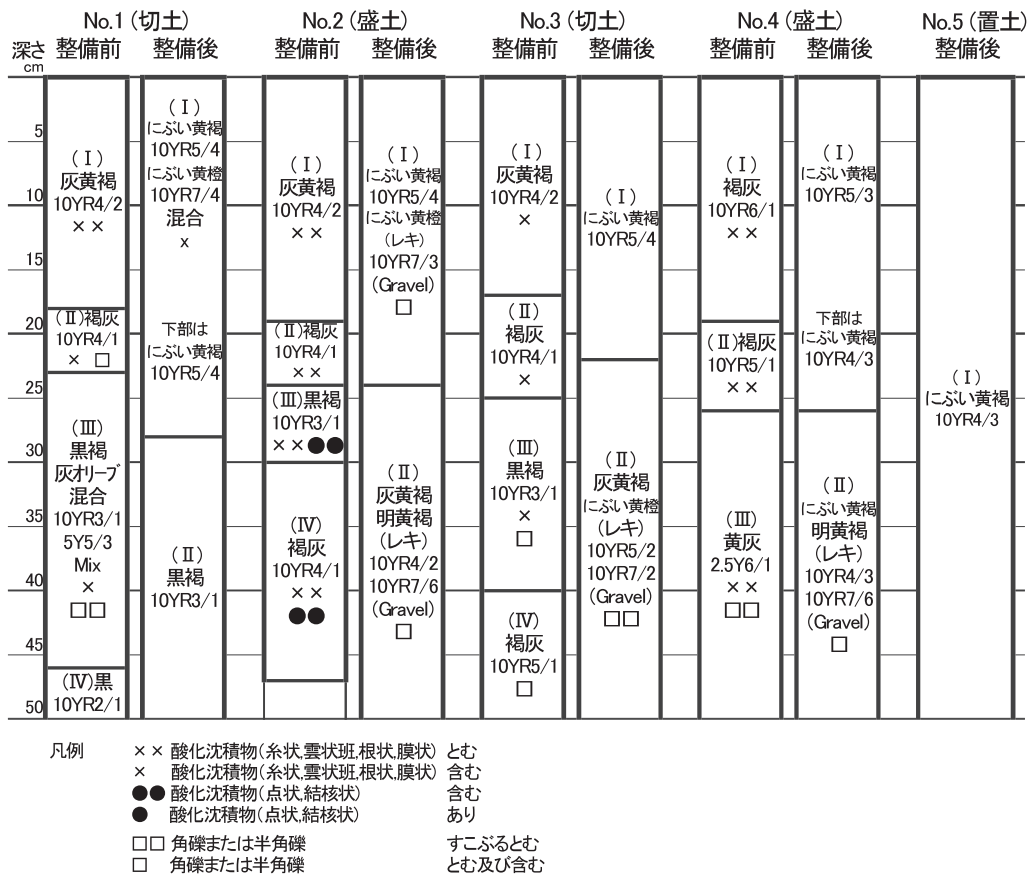


Fig.11 整備前後の土壌断面
Soil profile before and after consolidation

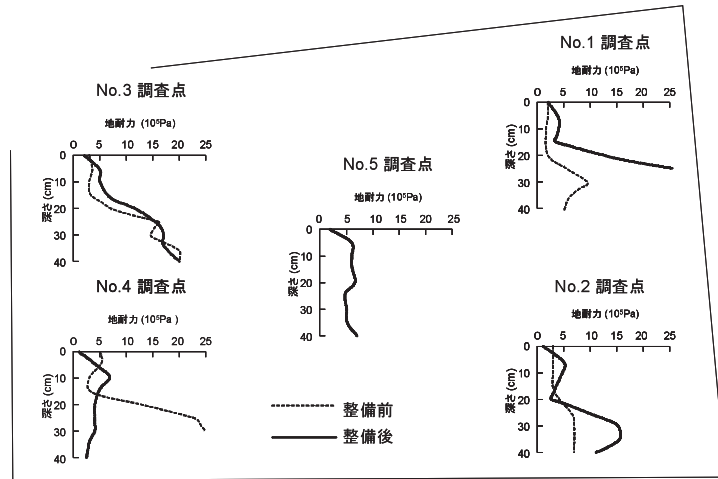


Fig.12 整備前後の地耐力
Bearing capacity before and after consolidation

Table 1 圃場整備前後の土壌物理性
Physical characteristics of soil before and after consolidation

調査点	採取深さ (cm)	層序	整備前 (1982年5月)						整備後 (1982年11月)							
			三相分布 (%)			粗孔隙率 (%)	含水比 (%)	飽和透水係数 (cm/s ⁻¹)	三相分布 (%)			粗孔隙率 (%)	含水比 (%)	飽和透水係数 (cm/s ⁻¹)		
固相	液相	気相	固相	液相	気相											
No.1	5~10	(I)	32	48	20	15	56	6.9E-03	5~10	(I)	51	44	5	4	32	3.8E-07
	18~23	(II)	49	47	4	3	36	3.7E-04	15~20	(I)	50	43	8	6	32	2.3E-03
	30~35	(III)	58	37	5	5	24	6.8E-04	35~40	(II)	61	33	6	5	20	9.6E-06
	50~55	(IV)	48	48	4	4	38	8.7E-04								
No.2	5~10	(I)	34	48	18	14	54	1.1E-02	5~10	(I)	55	41	4	3	28	7.5E-07
	19~24	(II)	46	49	5	4	41	7.6E-04	15~20	(I)	51	42	8	6	30	1.7E-06
	25~30	(III)	51	45	4	3	32	4.1E-06	25~30	(II)	66	29	5	2	18	7.9E-07
	35~40	(IV)	50	44	6	5	33	7.5E-04								
No.3	5~10	(I)	41	46	13	11	43	1.2E-03	5~10	(I)	50	43	7	5	33	5.5E-07
	18~23	(II)	60	36	5	3	22	8.9E-04	15~20	(I)	48	46	7	5	36	1.5E-06
	30~35	(III)	56	34	10	8	23	6.8E-03	25~30	(II)	63	31	7	5	18	5.4E-07
No.4	5~10	(I)	33	47	20	15	54	6.7E-03	5~10	(I)	50	44	7	5	33	3.3E-07
	20~25	(II)	54	44	2	1	30	1.9E-05	15~20	(I)	49	44	8	5	35	1.6E-07
	30~35	(III)	57	37	5	3	24	1.3E-04	30~35	(II)	57	35	9	7	23	4.3E-06
	55~60	(IV)	56	40	3	3	27	2.1E-04								
No.5									5~10		53	42	5	4	29	1.4E-05
									25~30		48	43	9	6	33	2.9E-04
									35~40	-	46	44	10	7	36	3.6E-06
									55~60		44	47	9	8	41	1.3E-04
									60~65		58	38	4	2	23	2.7E-05

整備前の水田土壌と比較した場合、固相率、透水係数等の値から、表土、基盤とも圧縮された状態となっていたことがうかがえる。特に表土の透水性は全国の代表的な水田土壌の飽和透水係数は $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{cm s}^{-1}$ 台の範囲にある(土壌物理学会, 2002) ことと比較すると、水田土壌としてはきわめて異例の値を示していた。

調査耕区では表土扱いが行われ、施工中一時集積してあった整備前の表土が整備後も利用されている。しかしながら、その土壌物理性は、表土はぎ、一時集積、表土戻しの工程を経て整備前とは大きく変化したものと

なっていた。また、基盤については耕区周辺の土が利用されるとはいえ、切盛土工により整備前とは異なった状況の基盤が形成されている。

透水性低下等の整備後の土壌物理性の状況は、基盤については、漏水防止や地耐力の確保等を目的とし入念な施工の結果と推定されるが、表土については、施工によるこね返しおよび踏圧等が影響したと考えられる。

2 整備後の水田基盤の状態

整備直後の基盤状態を把握するため、1982年11月に

深さ 40cm までの貫入抵抗を調査耕区全体について 5m メッシュに測定し地耐力の分布を求めた。この結果を深さ 5cm と 30cm の地耐力の等圧線で Fig.13 に示した。Fig.13 に示した深さ 30cm における等圧線から、整備直後の耕区中央部に地耐力が周辺と比較して低い部分の存在が明らかとなり、最も低い部分は 4×10^5 Pa 以下となっていた。ここでは整備後 1 作目において水稻の倒伏が発生した（小倉ら, 1983 前出）。また、山側畦畔近くでは地表に近い部分の地耐力は極めて小さいが、深い部分は大きく、深さ 20cm で 25×10^5 Pa 以上の抵抗値を示し、30cm の深さまでの測定は不可能であった。

耕区中央部の「置き土」がされていた所に設定した No.5 調査点において 60cm 深の試坑調査を行った結果では、60cm まで土層の分化がみられず、土色は Fig.11 に示されるように No.1 ~ No.4 調査点の表層とほぼ同色のにぶい黄褐色であった。固相率においても、Table 1 に示されるように No.1 ~ No.4 調査点は I 層と II 層に明確な差があるのに対し、No.5 調査点は深さ 60cm まで固相率に差がみられない。Fig.12 に示した地耐力も 40cm まで 5×10^5 Pa 前後の値が連続している。No.5 調査点は Fig.13 に示した深さ 30cm の 6×10^5 Pa 等圧線の内側に位置する。

また、地表から本来基盤が形成されている深さまでの土壌の性状を明らかにするため、No.5 調査点から採取した土壌について、各深さ毎に乾土効果および温度上昇効果の発現を検討した。土壌試料は地表から 75cm の深さまで 15cm 深毎に採取し、2mm メッシュ篩通過処理後、一部を風乾処理した。湿潤状態および風乾処理した試料

をインキュベーションチューブを利用して湛水状態とし、湿潤土は 30℃ および 40℃、風乾土は 30℃ で 4 週間保温静置した後、NH₄-N 生成量を測定し、乾土効果および温度上昇効果を算出した。この結果、Table 2 に示すように各深さからの採取試料とも NH₄-N 生成量が多く、深部の土壌も水田作土の性質を持っていることが示された。以上より No.5 調査点では 60cm 以上の深さまで水田旧表土が堆積していたことが裏付けられた。これは、この地区で採用された工法では、整備前の基盤土を利用した基盤造成が耕区中央部では行われていなかったことを示している。

調査耕区を含む地区では、圃場整備施工直後の水稻作は生育過剰となることが多く、調査耕区の耕作者によると整備後 1 作目の 1983 年の水稻作では整備前と比較して施肥を抑制したという。しかし、この耕区では 1 作目の水稻作において耕区中央部で過剰生育による水稻の倒伏が発生した。このため、耕区中央部の倒伏部と、耕区周辺部の盛土部各 1 点で 2m × 2m の坪刈りを行い収量調査を行った。この結果、耕区周辺部でも精玄米重量で 0.72kg m^{-2} を示し、整備前の年平均収量 0.51kg m^{-2} を大きく超えた。さらに倒伏部分では 0.96kg m^{-2} という異常な高収量を示した。しかし、倒伏部分では収穫作業は手刈に限られるうえ、田面の乾燥が悪く歩行も困難な状況で、作業性等に問題が発生していた。この耕区中央部の過剰生育はその後も継続して発生したため、過剰生育の発生

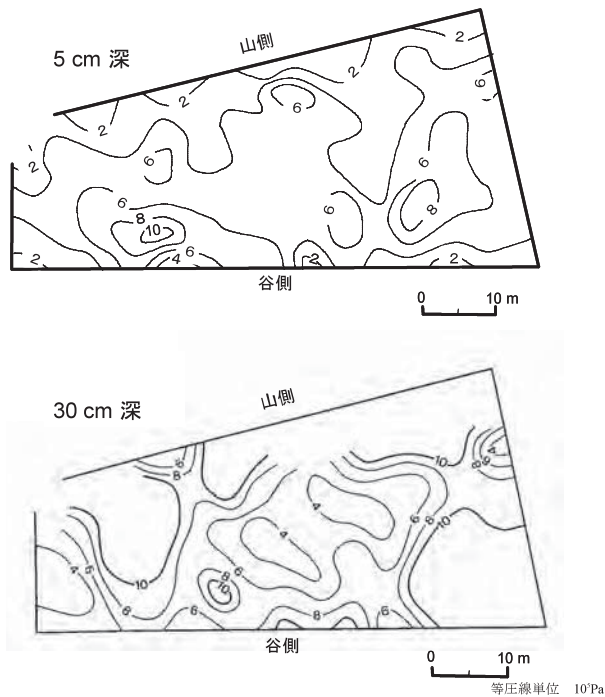


Fig.13 整備直後の地耐力分布 (1982 年 11 月測定)
Distribution of bearing capacity after consolidation

Table 2 耕区中央部土壌の深度別乾土効果、温度上昇効果
Soil drying effect on nitrogen mineralization
in the center part of survey paddy lot

深さ (cm)	湿潤土		風乾土	乾土効果	温度上昇効果
	30℃	40℃	30℃		
0 ~ 15	1.1	5.3	19.5	18.4	4.2
15 ~ 30	2.1	7.0	21.0	18.9	4.9
30 ~ 45	1.1	5.3	21.0	19.9	4.2
45 ~ 60	2.1	6.4	16.1	14.0	4.3
60 ~ 75	1.5	3.2	8.9	7.4	1.7

単位: NH₄-N 生成量 (mg 100g⁻¹)
乾土効果: 風乾土および湿潤土の 30℃ 4 週間保温静置後の窒素生成量の差
温度上昇効果: 湿潤土の 40℃ および 30℃ 4 週間保温静置後の窒素生成量の差

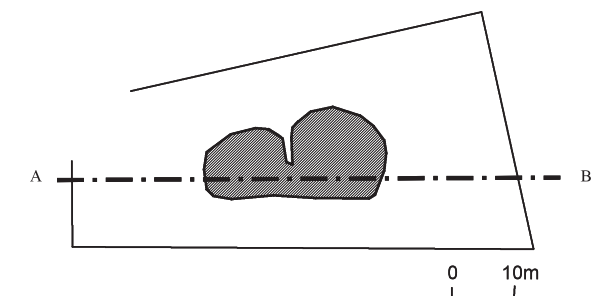


Fig.14 水稻過剰生育の範囲 (1988 年 9 月計測)
Area of uneven rice growing

範囲を1988年に測定し Fig.14 に示した。

3 水田基盤の経年的変化

調査耕区について、整備後2年目からは営農に支障がない範囲での耕盤再形成等の状況を把握するため、1988年まで毎年、収穫から翌年の耕うん作業までの間に地耐力分布の測定を整備直後と同様に行った。さらに、その後も水稲生育むらが発生していることを確認できたため、施工15年後の1997年に再度同様の方法で地耐力分布を測定した。また、1988年と1997年には耕区中央部の置き土部を通る下側畦畔から11mの測線上において5m間隔に深さ40cmまでの土壌を検土杖で採取し土色を調査するとともに、1988年にはその一部について含水比分布を測定した。

整備後の地耐力変化過程を示すため、Fig.15 に東側畦畔から約11mの断面の整備直後および1~5作後と15作後の地耐力分布を示した。この耕区の実用後の利用は3作目に大豆を作付けた他は2006年まで水稲作が継続されている。整備直後の1982年の図では耕区中央部では、耕盤が欠如している状況が示されている。この部分では、水稲2作後の1984年には耕盤が出現しているが、耕盤より深い部分は貫入抵抗値が低いままである。この状況は転換畑として利用した直後の1985年を除き同じような傾向であり、施工から15年を経た1997年になっても維持されている。

この断面の、1988年3月と1997年11月の土色調査結果を Fig.16 に示した。表土部分は断面全体を通してにぶい黄褐色から褐色であるが、断面両端部の基盤では、整備直後の周辺部地盤にみられた黒褐や灰黄褐、にぶい黄澄等の土色が入り交じった状況となっている。これに対し断面中央部の31m~51mの測定点の基盤の土色分布は比較的単調であった。特に11月に測定を行った1997年の断面では灰色がかった土色が40cm深まで連続しており、旧表土が還元状況となって存在していることがうかがえる。Fig.17 に示した1988年3月の含水比の測定結果でも、中央部は深部まで高含水比となっており、整備直後の基盤構造の相違が維持されている状況が示されている。

傾斜地水田の整備では、基盤以下についても再造成を行うことになるため、表土の取扱とともに基盤造成の状況が生産性や作業性などに影響を残すことになる。これらの現象は時間を経るに従って徐々に解消していくが、いったん造成された水田基盤が安定した状態を取り戻すには長い期間を必要とする。

調査耕区では、Fig.18 に示されるように整備後5作目の1987年においても耕区中央部の水稲が過剰生育により倒伏したばかりでなく、1994年の12作目においても明らかな水稲の生育むらが生じていた。また、16作目の1998年でも8月中旬の段階で、耕区中央部は葉色に差が認められ、18作目にあたる2000年に行った耕作者

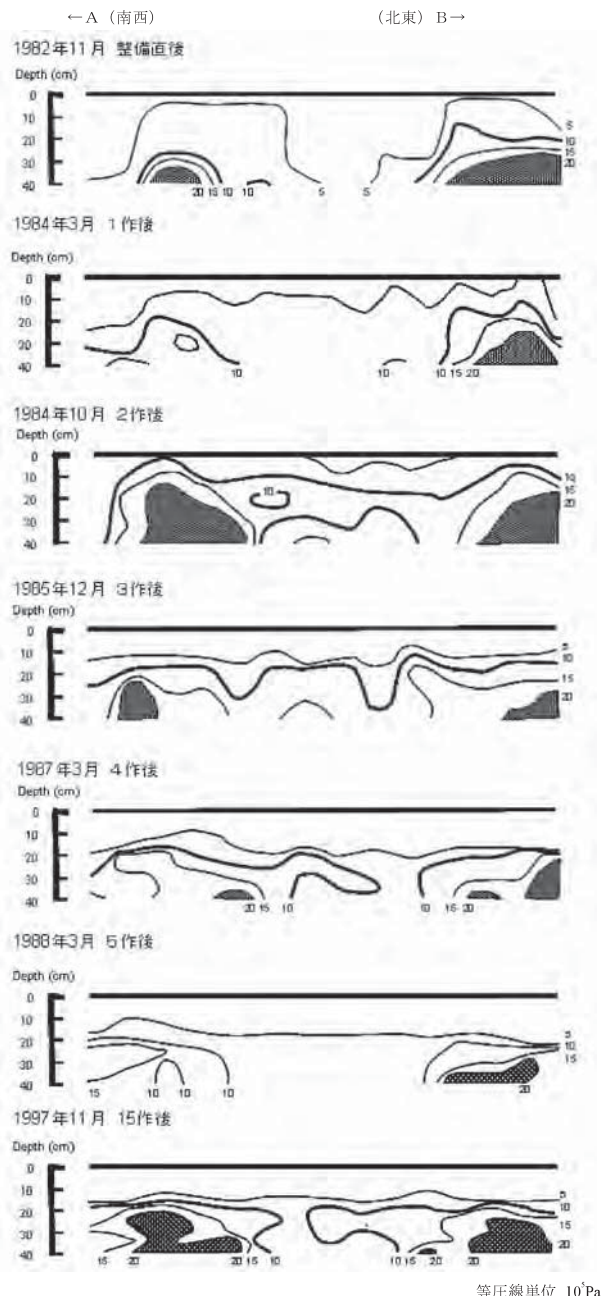


Fig.15 断面の地耐力分布変化 (Fig.14 A-B 断面)
Change of bearing capacity by cross section (Fig.14 A-B section)

への聞き取りでも中央部の生育は周辺部と差があるとのことであった。その後、2006年9月に行った現地調査の結果では Fig.19 に示すように、耕区中央部と周辺部の水稲の葉色には歴然とした相違があることが明らかになった。また、同じ事業地区内の1981年に整備を行った他の耕区でも Fig.20 に示すように耕区中央部の葉色が濃い状況が継続しており、整備25年後を経ても依然として生育むらが発生していることが判明した。生育むらについては、久津那らが圃場整備田における切土部・盛土部・切盛少部の玄米収量の経年変化を調査した結果、整備7年後でも切土部の収量は切盛少部の収量より少なかったことが報告(久津那ら, 1972)されているが、影響はさらに長期に及ぶことを示した(小倉ら, 2006)。

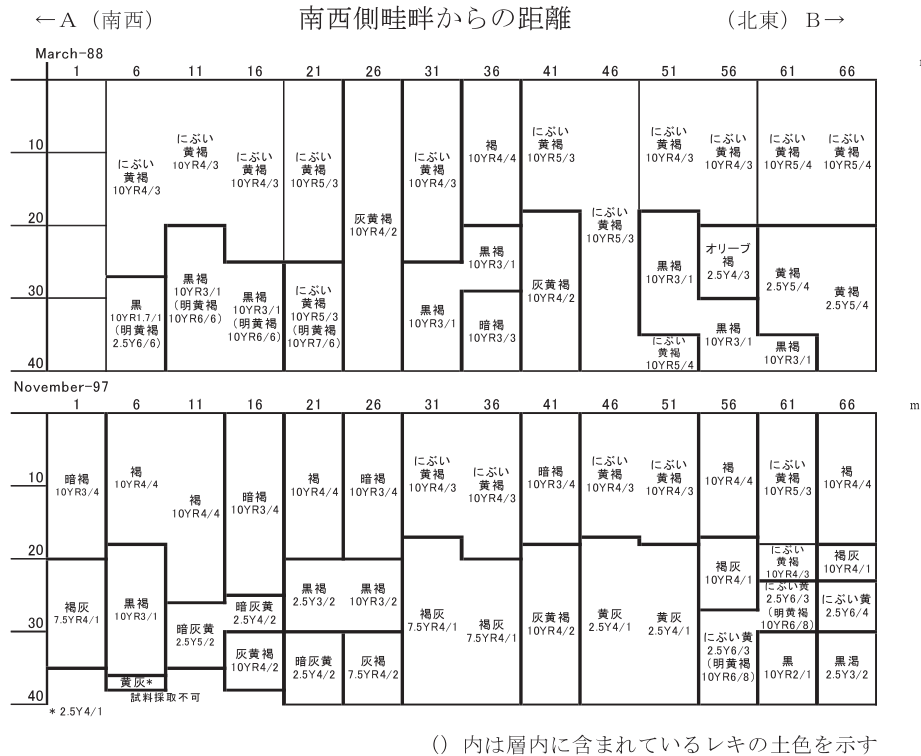


Fig.16 断面の土色分布 (Fig.14 A-B 断面)
Soil color by cross section (Fig.14 A-B section)

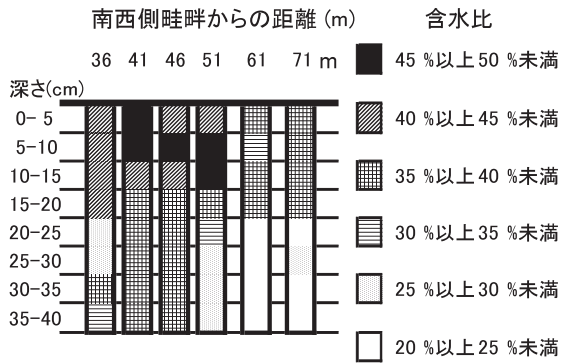


Fig.17 断面の含水比分布 (Fig.14 A-B 断面 1988年3月測定)
Soil moisture content by cross section (Fig.14 A-B section March, 1988)

4 結果の摘要

整備直後の耕盤を欠いていたとみられる部分は、時間を経るに従い地耐力が増加した。しかし、耕盤が形成された後もその下層の地盤に相当する部分は、周辺部に比較し軟弱であった。また中央部の基盤を構成する土は、土色から見る限り15年後も表土の性質を残していると推定された。この部分では前述のように25年を経ても依然として水稻の生育むらが発生していた。このように、圃場整備施工時の水田構造が、整備後長期にわたって影響を及ぼすことが示された。

傾斜地の圃場整備において、水稻のできむらを防ぐために、基盤の造成が重要であることが指摘 (岩手大学農

地造成研究会, 1986) されているが、圃場整備施工当初に形作られた基盤の構造がその後の営農に長期間影響することが明らかになり、傾斜地の圃場整備における耕盤、地盤を合わせた基盤造成の重要性を裏付けることができた。

III 農業基盤整備に適合した法面緑化技術の開発

1980年代、中山間地域の丘陵地等で地域農業の活性化をめざして行われた農地開発は、低起伏山地や丘陵地が対象地となることが多く、そこに機械化営農に対応した緩傾斜の圃場を造成するため、改良山成畑工法が採用されることが多かった。この場合、造成された開発団地の周辺などには必然的に法面が形成され、その保全のために緑化工が施工されていた。また、既存の畑の整備にあたっては圃場面の傾斜緩和が行われる場合が多く、その場合にも法面が形成された。

当時すでに傾斜60°未満の法面に対する緑化技術は確立されていたが、前述のように高価なために他国では採用されないであろうとまで言われていた。このような高水準の工法の導入を農地開発事業で検討することは現実的ではなく、当時の開発農地の法面緑化には、外来牧草を使用した種子散布工やむしろ芝工が植生工に採用されることが多かった。

緑化工が施工された法面は、最終的にはその法面に適した安定した植生が確立されることが望まれる。日本のような高温・多湿の国では、道路の法面を草本類で緑化



Fig.18 水稲生育むらの経年変化
Situation of uneven rice growing



Fig.19 調査耕区における 2006 年の生育むら
Uneven growth of survey lot in 2006



Fig.20 1981 年整備地区における 2006 年の生育むら
Uneven growth of consolidated area for 1981 in 2006

した場合でも、時間の経過とともに木本類が侵入し樹林に遷移すると言われている（星子ら，1997）。開発農地においても、外来牧草で急速緑化された法面に、徐々に郷土種植物等が侵入し、開発団地外縁部など山林に接している法面では木本類が侵入してくる場合が多い。しかし一部には、安定植生の成立という緑化工の最終的な目的が十分達成できていないばかりでなく、施工後の気象条件等によっては急速緑化という短期的な目的さえ達成できていない状態の法面もみられた。

このような状況を解消するためには、開発農地の実情に適合した緑化工技術を開発する必要がある。そこで比較的簡易に行える緑化技術工法として、当時、農地開発事業で多く採用されていた、種子散布工に追加する形で施肥を行う保護管理工法の開発を行った。この結果当面の法面被覆という目的を達成できただけでなく、施肥の直接の効果が消失した後も、植生の推移等に効果を認めることができた（小倉ら，1992）。さらに、この試験を行った法面において施工 10 年後に木本の侵入状況を調査したところ、木本侵入にも追加施肥の間接的な効果が及んでいることを認めることができ（小倉ら，2000）、比較的簡易な保護管理工法で緑化工の最終目的である安定した植生への遷移の促進を図ることができた。

1 低コスト保護管理工法の開発

1.1 開発試験の概要

種子散布工による植生工では、養生剤や安定剤は配合されていたが植物生育基盤の造成までは十分行われていなかった。このため、施工後の植生の定着は気象条件等に左右される可能性が高い。植生の定着状況によっては、本来何らかの保護管理工が必要となるが、発芽不良が発生した場合等に施工業者による種子散布工の再施工は行われることはあっても、保護管理工が十分に行われることは農地開発事業においては少なかった。そのため、保護管理工法の開発試験は、種子散布工に追加して施肥を行うという形で実施した。施肥は各処理区につき1回ずつ行うものとし、施肥形態、時期の異なる試験を設定した。

試験は、Fig.21 に示す京都府竹野郡網野町（現在は京丹後市）の海岸から約2kmの距離、標高約30～70mのところの位置する、1983年から2002年度まで行われた国営丹後農地開発事業により造成された開発農地内で実施した。この地区では法面緑化工として、イネ科3種、マメ科1種の外来牧草を化成肥料、養生材等とともに散布する植生工が施工されていた。植生工の配合をTable 3に示した。

施肥試験は、法面に対し化成肥料をパーク堆肥とともに追肥として散布する試験と緩効性肥料を詰めた布袋を法面に設置する試験とを行い、それぞれを肥料散布試験、肥料袋工試験と称することにした。

肥料散布試験は、通常の追肥の形で、施肥を行った場合の効果を重ねたものであるが、肥料袋工試験は、緩効性肥料を法面に設置しておくことによる長期間の肥培効果を期待して行った。肥料袋は植生工施工当初からの肥培効果を期待して施工前にあらかじめ基肥として設置したが、この試験に先立ち予備的に追肥として利用する

Table 3 植生工配合
Composition of replanting treatment

種別	品名	配合 (g m ⁻²)
種子	クリーピングレッドフェスク	10
	レッドトップ	2
	ペレニアルライグラス	5
	ホワイトクローバ	3
化成肥料	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=15:15:15	150
養生剤	木質ファイバー	200
安定剤	侵食防止安定剤	10
着色料	緑色	0.5

試験を行った。

1.2 試験設定

肥料散布試験

1985年4月に植生工を施工した法面において7月に施肥を実施した。処理区は南向きの連続した法面の盛土と切土の部分に対し、それぞれ、パーク堆肥処理区（以下パーク区と称する）、パーク堆肥・化成肥料混合処理区（以下混合区と称する）、化成肥料処理区（以下化成区と称する）を設定した。各処理区は2m×5.5mで勾配は1:1.2（約40°）である。追肥量は窒素20g m⁻²を基準とし、混合区ではパーク堆肥の肥料分を上積みした。なお、この試験を行った法面は法尻に柵工が施工されている。

肥料袋工試験

肥料袋は、緩効性化成肥料をパーミキュライトとともに不織布の袋に入れて作成し、これを法面に笠釘で固定した。試験区への肥料袋の設置は、1985年10月に植生工を施工した切土法面に、9月に設置した。また、1985年4月に植生工を施工した法面に、肥料袋工の予備試験として7月に肥料袋を設置した。以下、植生工施工前に肥料袋を設置した試験を肥料袋工基肥試験、当初予備試



Fig.21 試験実施地の位置
Location of experimental field

詳細図

国土地理院発行

20 万分 1 地勢図宮津使用

験として実施した試験を肥料袋工追肥試験と称する。

肥料袋工試験を行った法面はいずれも南向きの切土法面である。試験区および肥料袋の設置状況の概要を **Fig.22** に示した。法面の垂直高さは肥料袋工基肥試験区は 19m, 肥料袋工追肥試験区は 13m で、高さ 5m 間隔に小段が設けられており、法面勾配は肥料袋工基肥試験区は 1:1 (45°), 肥料袋工追肥試験区は 1:0.8 (約 51°) であった。試験区はそれぞれの法面の下から 2 段目の斜面に設定した。肥料袋は、肥料袋工基肥試験区では下側小段から上側小段までの間の斜面上に 0.5m 間隔に 15 本、肥

料袋工追肥試験区では下側小段から斜面長で 1.5m から 3.5m の位置に 0.5m 間隔に 5 本設置した。なお、試験区の斜面長は勾配が異なるため肥料袋工基肥試験区 7.7m, 肥料袋工追肥試験区は 6.2m である。肥料袋工基肥試験区の肥料袋設置直後の状況を **Fig.23** に示す。

各試験の施肥配合設計を **Table 4** に示した。

植生工の施工および施肥を行った 1985 年から翌 1986 年の試験地の気象状況を、現地から約 6km 離れた竹野郡丹後町（現在は京丹後市）間人観測所の月別日平均気温と降水量で **Fig.24** に示した。1985 年は 8 月の降水量

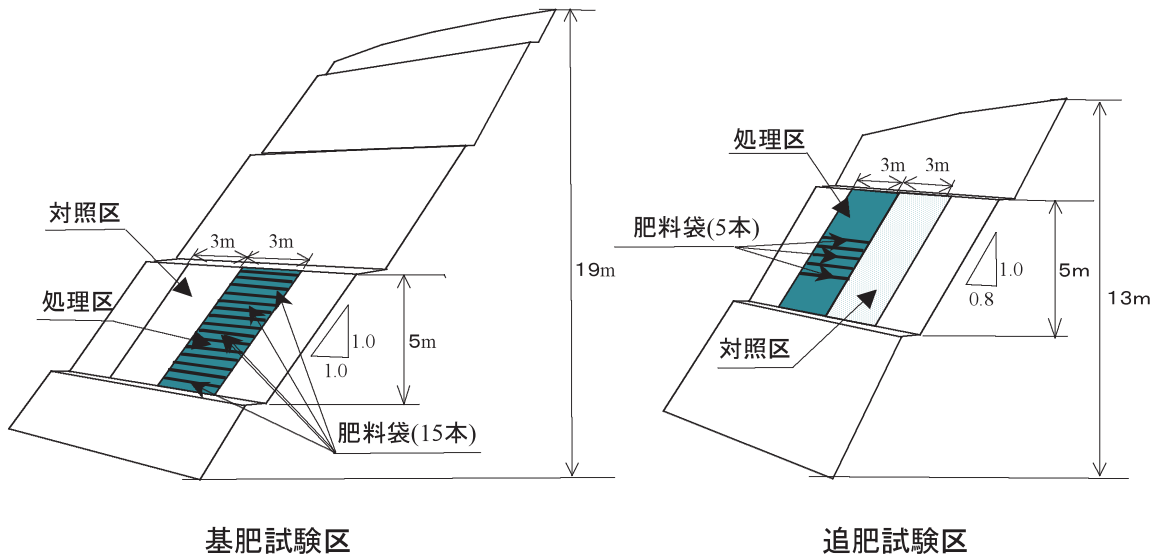


Fig.22 肥料袋工試験区の概要
Outline of the experiment plot

植生工（種子散布工）施工前に肥料袋を設置

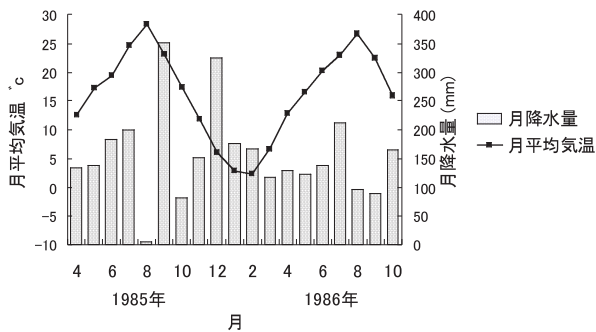


Fig.23 肥料袋設置直後の基肥試験処理区の状況
Situation of basal fertilizer test lot immediately after setting fertilizer bags

Table 4 施肥配合設計
Design for composition of fertilizer application

試験	処理区	成分量 (g m ⁻²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
肥料散布試験	パーク区	3.6	1.5	0.9
	混合区	23.6	21.5	14.2
	化成区	20.0	20.0	13.3
肥料袋工試験*		30.0	33.4	25.5

*他にバーミキュライト 292.5g m²



気象庁ホームページ気象統計情報より作成

Fig.24 試験地の気象状況 (間人アメダス観測地点)
Climate of survey area

が5mmと極端に少なかった。

施肥効果の判定は牧草の現存量、草丈および土壌物理性の推移と施工4年後の植被率、他種植物の侵入状況とで行った。推移の測定は肥料散布試験においては、追加施肥前と施肥2ヶ月後、施工翌年、2年後および4年後に行い、肥料袋工基肥試験区では、施工翌年から測定した。現存量は各処理区内の平均を示すと判断される部分を20cm×20cm(4年後は50cm×50cm)刈り取り70℃で乾燥して計量した。草丈は現存量測定箇所周辺の任意の10本の草を測定して平均を求めた。また、地表から0～5cmの深さまでの土壌を100cc円筒により採取し、三相分布、飽和透水係数を求めた。

これらの測定は各処理区毎に行うとともに、施工翌年からは各試験設定法面ごとに処理区に隣接した区外でも測定を行い対照区とした。なお、肥料袋工追肥試験区については、当初予備試験として行ったため、これらの調査は行っていない。

2 追加施肥の草本への効果

2.1 緑化牧草への短期的効果

肥料散布試験を行った法面において施肥直前の1985年7月に植生の定着状況を調査した。その結果、平均草丈は、切土部で6.3cm、盛土部は6.6cmであったが、牧草の密度は切土部で1,600本 m⁻²、盛土部は2,300本 m⁻²であった。この数値は日本道路公団(当時)が標準としている施工60日目の発芽本数1000本 m⁻²(寺崎ら, 1976前出)を越えているものの、盛土部で4.4cm²に1本、切土部では6.1cm²に1本の割合で草丈6cmほどの

草が生えているにすぎず、植被率はきわめて低かった。また、種子散布工により植生工を施工した場合、時には施工後2カ月目ぐらいから肥料不足による植生の衰退が始まり、放置すると裸地化の危険性が高いといわれており(寺崎ら, 1976前出)、本試験を行った法面においても肥料不足の状態になっていた可能性がある。なお、草種としてはホワイトクローバーはみられず、イネ科3種のいずれかは、この時点では判定できなかった。翌年以後は各法面とも、レッドトップが優占し他3種は確認できなかった。

一方、肥料袋工基肥試験を行った法面では、翌年7月の植被率は対照区も含めて100%に達していた。これは、施工時期が肥料散布試験を行った法面の4月と異なり10月であったため、気象条件がレッドトップ生育に適していたことによると考えられる。したがって、この場合、当面の法面被覆を行うという点からは、種子散布時に同時配合した肥料以外に施肥の必要はなかった。しかし、施工2年後には、処理区、対照区とも再生がほとんど認められなくなっていた。レッドトップには密生すると枯死する欠点があり(安保, 1983b)、この欠点が現れたものと考えられる。

肥料散布試験の各処理区の追肥後の法面植生の現存量をFig.25に示した。各処理区間の差をみると、追肥2カ月後の1985年9月上旬では、化成肥料の追肥を行った混合区、化成区では切土、盛土ともにパーク区の3～4倍を示し、追肥翌年の1986年では、8月上旬の測定で混合区、化成区はパーク区、対照区に比べ10～20倍を示していた。このときの状況をFig.26に示した。測定時期が年次によって異なるため年次ごとの現存量の直接比較はできないが、2年後以降は全体として重量が減少傾向ではあるものの混合区および化成区と、パーク区および対照区との間には明らかな差があり、4年後の1989年においても効果の持続が認められた。

肥料袋工試験区を設定した法面の施工翌年および2、4、10年後の状況をFig.27およびFig.28に示した。肥料袋工基肥試験区の法面植生の現存量推移をFig.29に示した。施工翌年～2年後の1986年～1987年では、処理区の重量は対照区のおよそ2倍を示している。しかし、処理区の施工2年後の現存量は10月の比較で施工翌年の約2/3、4年後では8月の比較で1/10以下まで減少していた。なお、4年後では処理区の現存量は対照区の3倍を示していた。

草丈の推移をTable 5に示した。肥料散布試験区では施工翌年の1986年8月では混合区、化成区は切土、盛土ともに40cm以上を示したのに対し、パーク区、対照区は20cm以下で、施工した年とほとんど差はなかった。しかし、施工2年後の1987年以後は対照区も含め各区とも40cm前後となり、処理区間の差は消失していた。肥料袋工基肥試験を行った法面では前述のように対照区でもレッドトップの生育が良好で、施工翌年から処理、

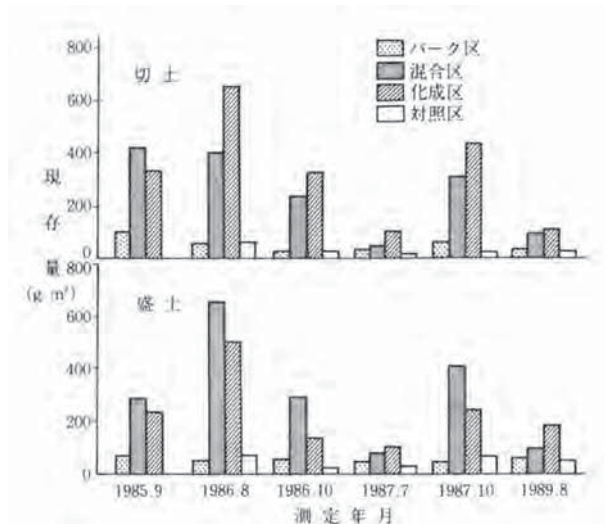


Fig.25 肥料散布試験区法面植生の現存量推移
Changes of the standing vegetation weight
in the lots for fertilizing spreading test

対照区間の草丈に大きな差はみられなかった。

また、肥料袋工追肥試験区においては、Fig.30に示すようなレッドトップの植生帯を形成することができた。この部分のレッドトップはほふく枝*が発達し、法面に十分定着していた。

2.2 施工4年後の植生状況

施工、施肥から4年後の1989年8月に植被と施工時に播種した種類以外の植物の侵入状況を調査した結果をTable 6に示した。

植被率は肥料散布試験区の場合、混合区、化成区では切土、盛土を問わず80%以上となっており、ほぼ法面を覆う状態となっていた。これに対し、バーク区と対照区では40%以下であった。しかし、肥料袋工基肥試験区では、処理区でも55%前後で肥料散布試験の化成区等に及んでいない。この時点ではFig.27に示すように処理区以外のレッドトップの衰退は著しい。この原因としても施工翌年の密生が逆に悪影響を及ぼしていることが考えられる。

侵入植物は、肥料散布試験区では化成肥料を散布した混合区、化成区を中心に処理区にはヤハズソウ等の侵入植物がみられたが、対照区ではみられなかった。また、試験区を設定した法面全体をみても、侵入植物は試験設定部が明らかに多くみられた。一方、肥料袋工基肥試験区では他種の侵入は処理区の下部において若干認められただけであった。この試験区で他種植物の侵入が少ない原因として、レッドトップの枯草が法面を覆うような形になっていることが理由の一つとして考えられる。しかしながら、処理区内では木本であるアカマツの侵入が確認できた。また、肥料袋工追肥試験区ではFig.28に示されるようにレッドトップのベルトの間にアカマツの侵



左からバーク区、混合区、化成区(切土)

Fig.26 植生工施工、肥料散布翌年の肥料散布試験区
(1986年7月)

Situation of the lots for fertilizing spreading test
one year after replanting treatment and fertilizing

入が進んでいたことが確認できた。またこの法面では周辺部からツル性の植物が法面内に伸びてきている状況も確認できた。

3 法面への木本侵入と追加施肥の影響

緑化工の最終的な目的は、郷土植物等による安定した植生への遷移である。追加施肥試験を実施した開発団地周辺はアカマツ等を主体とする山林であり、試験区を設定した法面においても肥料袋工試験区において前述したように施工4年目にアカマツの侵入が確認されていた。その後、施工から10年目にあたる1995年に試験実施法面を観察したところ、団地外縁部の上部が山林に接している肥料袋工基肥および追肥試験区を設置した法面では、木本の侵入が進んでいることが確認できた。このため、同年9月にこの両試験区において、木本侵入状況および法面土壌の物理性を調査した。調査は、両試験区の処理区および、それぞれの処理区に隣接して設定した同一面積の対照区において実施した。なお、前述のように肥料袋工追肥試験区では上下小段間の一部にだけ肥料袋が設置されているが、小段間全体を処理区として扱った。

調査では、各区内に生育している木本類すべての侵入位置を、法面に最も多く成育しているアカマツとその他に分類して計測した。なお、アカマツについては樹高と直径を測定したが、樹高が胸高に達しない幼樹が多いため、根元の直径を測定した。さらに、肥料袋工基肥試験区を設定した法面では、処理区の両側15mずつの範囲の下側小段から4m以上の位置に侵入している木本の位置を測定し、木本の侵入上限位置を求めた。

3.1 試験法面における木本の侵入状況

肥料袋工基肥試験区の木本の侵入位置をFig.31に、同じく肥料袋工追肥試験区の侵入位置をFig.32に示し

*注) ほふく枝 高等植物の直立した茎の地際からでた枝が水平にのび、先端には次の世代の茎となる芽を具え、また途中の節から根を出して地に着生するもので、とくに細いものをさす(山田ら, 1983)。

施工1年後
1986年10月



施工2年後
1987年7月



矢印は処理区の
位置

施工4年後
1989年8月



施工10年後
1995年9月



Fig.27 肥料袋工基肥試験区設定法面の変化
Change of the slope of basal fertilizer by fertilizer bag method

施工1年後
1986年10月



施工2年後
1987年7月



施工4年後
1989年8月



施工10年後
1995年9月



Fig.28 肥料袋工追肥試験区設定法面の変化
Change of the slope of topdressing by fertilizer bags

た。なお、アカマツについては根元直径毎に区分して示した。

Table 7 に両試験区における木本の侵入本数を示した。総本数は、両試験区とも処理区が対照区を上回っていた。また、アカマツの本数も両試験区とも処理区が対照区を上回っていた。一方、アカマツ以外の木本については、肥料袋工基肥試験区においては処理区の侵入本数が対照

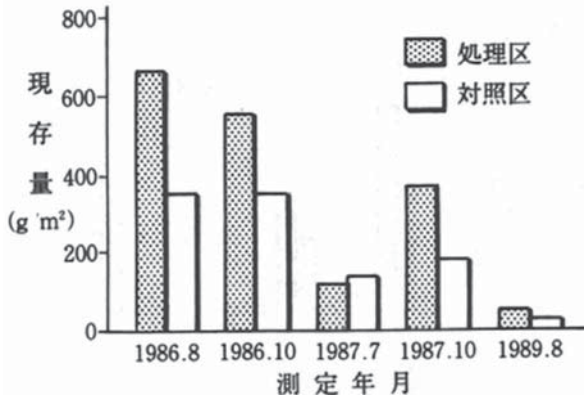


Fig.29 肥料袋工基肥試験区法面植生の現存量推移
Change of standing vegetation weight of the basal fertilize tests in the survey lot

Table 5 草丈の推移 (cm)
Change of height of plants (cm)

試験	処理区	1986年	1987年	1989年	
		8月	7月	8月	
肥料散布試験	切土	パーク区	12.6	41.2	29.6
		混合区	43.7	44.0	43.2
		化成区	58.1	45.6	40.4
		対照区	7.7	37.0	37.5
	盛土	パーク区	20.6	43.6	40.6
		混合区	40.1	48.0	44.8
		化成区	63.2	54.8	43.8
		対照区	15.5	47.2	37.8
肥料袋工基肥試験	処理区	77.5	54.6	45.7	
	対照区	58.5	46.8	28.7	

区を上回っていたのに対し、肥料袋工追肥試験区では対照区に2本の侵入がみられたにすぎなかった。

アカマツについて、各試験区の根元直径別の本数を Fig.33 に示した。両試験区とも、直径 20mm 以上のアカマツの本数は、処理区が対象区を上回っていた。とくに、肥料袋工追肥試験区においては、対照区には 40mm 以上のアカマツはみられなかった。これとは逆に、直径 20mm 未満のアカマツの本数は、両試験区とも対照区の方が処理区を上回っていた。さらに、アカマツを円錐と仮定して幹材積を求めると、肥料袋工基肥試験区では対照区の幹材積の合計が 0.051m³ に対し処理区は約 1.5 倍の 0.078m³、肥料袋工追肥試験区では対照区の 0.016m³ に対し処理区は 5 倍近い 0.077m³ となっていた。このように両試験区とも処理区のアカマツは総本数において対照区を上回っていただけでなく、根元直径が大きい木が多く、幹材積の総量も多かった。1989 年では、両試験区ともアカマツの侵入は処理区においてだけみられており、1995 年における処理区のアカマツの成長量が対照区と比較して大きい理由は、処理区の方がアカマツの侵入が早い時期から始まっていたためと考えられる。

なお、両試験区の処理区の肥料袋に沿ったベルト状の植生帯は残存していたが、形成している草本の草種はメリケンカルガヤに遷移していた。



Fig.30 肥料袋に沿ってベルト状に生育したレッドトップ
Redtop which grew in belt shape along fertilizer bags

Table 6 施工4年後の植生状況
Vegetation of four years after construction

試験	処理区	群落高 (cm)	植被率 (%)	裸地率 (%)	侵入植物	
					() 内は被度 (%)	
肥料散布試験	切土	パーク区	51	40	70	メヒシバ (5), オオアレチノギク (1)
		混合区	51	80	60	ヤハズソウ (20), メヒシバ (15)
		化成区	43	80	55	メヒシバ (1)
		対照区	51	15	85	-
	盛土	パーク区	48	40	60	-
		混合区	49	80	55	メヒシバ (1), オオアレチノギク (1)
		化成区	43	95	35	ヤハズソウ (20), アメリカセンダングサ (1), メヒシバ (1)
		対照区	47	30	75	-
肥料袋工基肥試験	処理区	61	55	60	チチコグサ*, ハハコグサ*, アカマツ*	
	対照区	57	25	80	-	

1989年8月調査

*被度1%未満

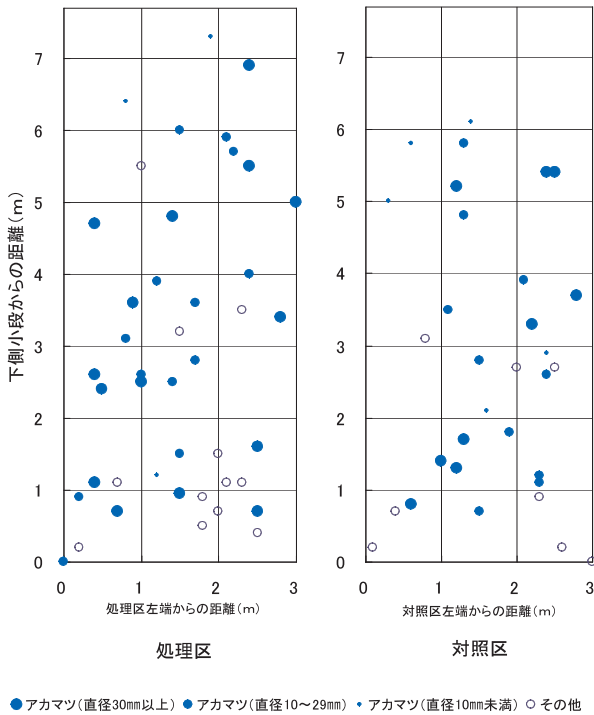


Fig.31 肥料袋工基肥試験区木本侵入位置

Position of invaded woody-plants on the plot of the basal fertilizer test

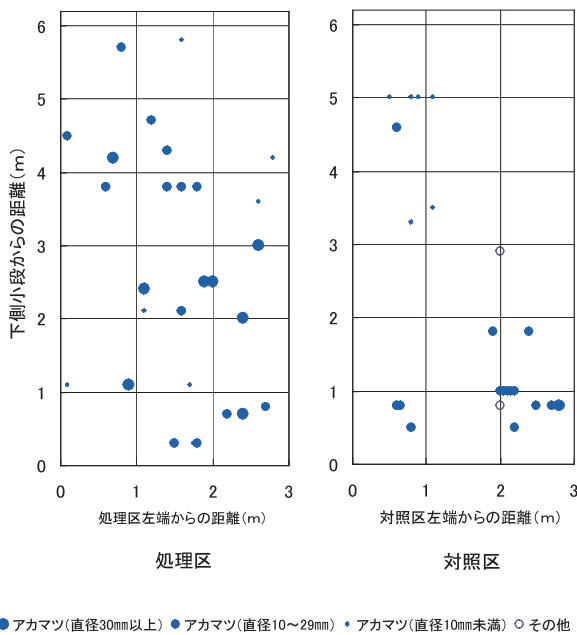


Fig.32 肥料袋工追肥試験区木本侵入位置

Position of invaded woody-plants on the plot of the topdressing test by fertilizer bags

3.2 試験区内の部位による侵入状況

法面斜面の部位による侵入状況の差を検討するため、各試験区内における木本の侵入密度を下側小段からの距離毎に整理し Fig.34 に示した。

肥料袋工基肥試験区では、処理区、対照区とも、試験区内の低い位置ほど木本の密度は高くなっており、試験

Table 7 肥料袋工試験区木本侵入本数

Number of invaded woody-plants on the plot of fertilizer bags

試験区		本数		
		アカマツ	その他	計
基肥試験区	処理区	31	12	43
	対照区	24	8	32
追肥試験区	処理区	28	0	28
	対照区	21	2	23

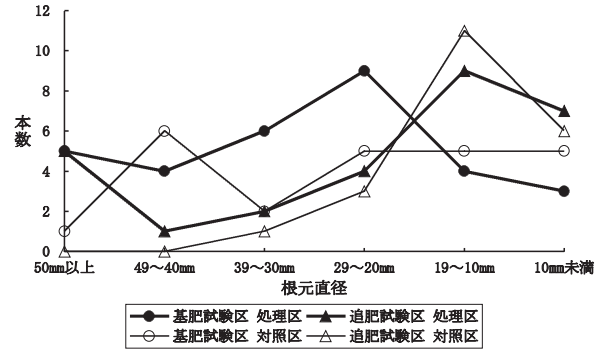


Fig.33 肥料袋工試験区内のアカマツ根元直径別侵入本数
Number of invaded *Pinus densiflora* classified by diameter

区下側小段から2.0m以下の部位の密度は6.1m以上と比較し、処理区で6倍、対照区で11倍を示していた。また、いずれの部位においても処理区の密度が対照区を上回っていた。さらに、アカマツ以外の木本が占める割合も試験区内の低い部位ほど高く、さらに Fig.31 にも示されているように4mを越える部位にはアカマツ以外の木本は処理区の1本を除きみられなかった。

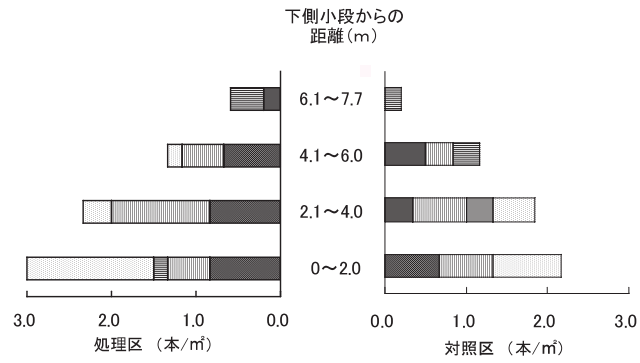
一方、肥料袋工追肥試験区では、処理区は肥料袋を設置した位置を含む高さ4m以下の部位の密度は1.7~1.8本/m²であり、4.1m以上の部位の1.1本/m²と比較して密度の差が小さかった。これに対し対照区は Fig.32 に示されるように、小段直上の1.0m以下の部位に比較的多く木本の侵入がみられた他は、全体に低密度であった。また処理区では、4m以下の部位に生育しているアカマツの約30%が根元の直径30mm以上であったのに対し、対照区では30mm以上のアカマツは0.8mの位置に1本みられただけであった。

このように、各試験区とも区内の低い部位において侵入密度が高い傾向がみられた。これは、木本が小段に近い試験区の下部から順次侵入してきていることを示していると考えられる。また、肥料袋工追肥試験区の処理区では、肥料袋を設置した位置より高い下側小段から4.1~6.2mの部位では、 Fig.34 に示されるように根元直径30mm以上のアカマツの占める比率が低くなっていた。

また、肥料袋工基肥試験区を設定した法面では、 Fig.35 に示すように処理区の部分では両側と比較し、法面の上部にまでアカマツの侵入がみられた。

肥料袋工基肥試験区を設定した法面において、木本侵入の上限位置を Fig.36 に示した。なお、これらの木

基肥試験区



追肥試験区

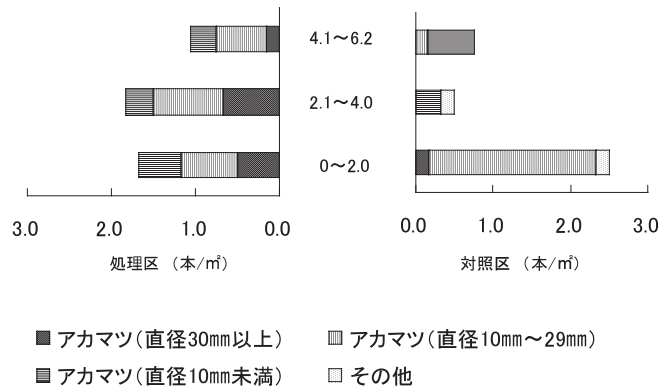


Fig.34 肥料袋工試験区内の法面内部別木本侵入密度
Relation between density and location of invaded woody-plants on the plots



Fig.35 肥料袋工基肥試験設定法面の上部 (1995年9月)
The upper side of slope of basal fertilizer by fertilizer bags
処理区の部分だけ法面上部までアカマツが侵入している

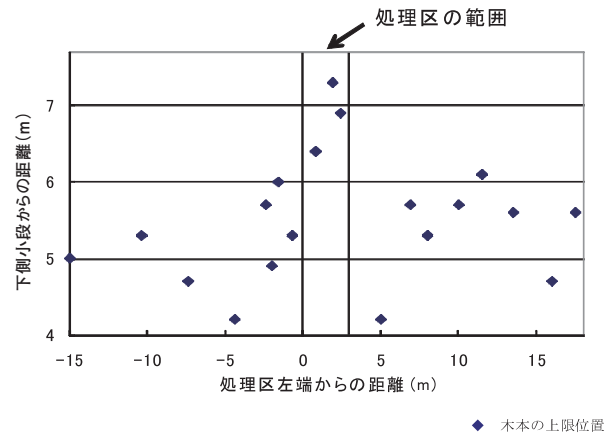


Fig.36 肥料袋工基肥試験区周辺の最上部木本侵入位置
Front of the woody plants at high altitude on and around the plot of the basal fertilizer test

本はすべてアカマツであった。処理区は法面の中央部にあつて周辺のアカマツ林から比較的遠い位置にあるにも関わらず、Fig.36に示されるように処理区両側と比較して斜面の高い位置にまでアカマツの侵入がみられた。

前述のように追加施肥の処理区では肥料袋に沿ったベルト状の植生帯が形成されていた。この植生帯は単に植被率を向上させただけでなく、表層土壌を安定させたり種子を捕捉するなど植物侵入の条件を有利にしたと考えられる。この結果、処理区では斜面の上部までアカマツが比較的多く侵入できたものと考えられる。

4 法面土壌の物理性変化

試験地の土壌は花崗岩が風化したいわゆるマサ土で肥料散布試験を行った法面から採取した試料の土性を調査した結果、国際土壌学会法のSL(砂壤土)~L(壤土)で、真比重は2.62~2.64であった。

肥料散布試験各処理区の表面から100cc円筒で採取した試料の追肥翌年から4年間の間隙比の変化をTable 8に示した。追肥前の1985年7月では、間隙比は盛土が0.95、切土は1.17であった。盛土が切土に比較して小さ

Table 8 表土の間隙比変化
Void ration of surface soil

試験	処理区	1986年 8月	1987年 10月	1989年 8月
肥料散布 試験	切土 バーク区	1.26	1.12	1.25
	混合区	1.24	0.99	1.34
	化成区	1.29	1.03	1.15
	対照区	1.07	0.89	0.81
盛土	バーク区	1.06	1.10	1.44
	混合区	1.00	1.10	0.88
	化成区	1.22	1.11	1.21
	対照区	0.83	0.87	0.87
肥料袋工 基肥試験	処理区	1.14	1.16	1.38
	対照区	1.05	1.05	1.10

いのは盛土施工時の攪乱と転圧の影響と考えられる。施工年と比較して対照区では間隙が減少する傾向があるのに対し、処理区では植生に対する効果が不明確なバーク区も含めて、ばらつきが大きいもの間隙が増加する傾向にある。肥料袋工基肥試験の法面でも処理区の間隙率は対照区に比べ大きくなっている。

飽和透水係数は、肥料散布試験を行った法面では施工された1985年は切土 $1.6 \times 10^{-4} \text{cm s}^{-1}$ 、盛土 $4.4 \times 10^{-5} \text{cm s}^{-1}$ であったが、施工翌年から2年後では、処理区は $1.4 \times 10^{-3} \text{cm s}^{-1} \sim 6.1 \times 10^{-4} \text{cm s}^{-1}$ 、対照区は $2.3 \sim 8.3 \times 10^{-4} \text{cm s}^{-1}$ の範囲となっていた。4年後は $1.8 \times 10^{-4} \text{cm s}^{-1} \sim 3.2 \times 10^{-3} \text{cm s}^{-1}$ の範囲内であったが、処理による差ははっきりとしなかった。肥料袋工基肥試験を行った法面では、 $1.1 \times 10^{-3} \text{cm s}^{-1} \sim 9.2 \times 10^{-4} \text{cm s}^{-1}$ の範囲内であったが、施工2年後に処理区、対照区間に差がみられた以外は処理効果を示す特定の傾向はみられなかった。

一方、肥料袋追肥試験区では、肥料袋に沿ったレッドトップのベルトの間の土壌が安定して2年後には **Fig.37** に示すようにコケが生えてきているのに対し、処理区外では表層は風化花崗岩の切土面がそのまま露出した状態が4年間継続していた。肥料袋を設置した場合の土壌に対する効果は、土壌物理性改善効果よりも裸地に近い法面における表層安定効果の方が大きかったと考えられる。

倉田は志賀・草津の道路の緑化施工地の調査結果から、裸地より緑化工施工地の方が郷土種の侵入が容易であると指摘した。その理由として、外来草による表土の安定、凍結融解からの子苗の保護、土壌物理性の改良をあげている(倉田, 1979)。本試験の結果からは、植生工施工後の施肥によりこれらの条件がさらに改善され、植物の侵入に対し好条件が作り出されていることが推定された。

10年目の1995年の調査結果では、肥料袋工基肥試験区において施工4年目までの測定結果でみられた処理区のほうが間隙比が大きい傾向は判然としていなかった。また、透水係数は肥料袋工追肥試験区の処理区が 10^{-2} 台



写真内矢印の部分がコケ

Fig.37 肥料袋工追肥試験区処理区内の法面に生えたコケ
(1987年7月)

Moss growing on slope in treatment area
of topdressing by fertilizer bags

であった他は 10^{-3} 台で、1989年までの測定結果と比較して増加傾向がみられた。一方、法面への植物の侵入と特に関連が大きい表面の土壌硬度は、肥料袋工基肥試験区では処理区、対照区ともち密度 $13 \sim 17 \text{mm}$ の範囲にあったのに対し、肥料袋工追肥試験区では処理区の 11mm に対し対照区は 26mm と差がみられた。ち密度が 25mm を越えると草本、木本とも土壌への根の侵入は不可能と言われており(小橋, 1995)、対照区の土壌は造成から10年を経ても硬度の面において植生侵入の限界付近の状況であったと考えられる。

5 結果の摘要

追加施肥試験は、外来牧草を利用した種子散布工に追加して比較的簡易に行える保護管理工の開発を目的として実施した。施工・施肥4年後までの経過の調査結果から、一回の追加施肥は播種された外来牧草の生育に短期的な効果があっただけでなく、施工、施肥から4年後でも処理の効果が持続しており、さらに郷土種植物等の侵入による安定した植生への遷移に対しても認めることができた。これは、2~3カ月といわれている(寺崎ら, 1976前出)施肥の直接の効果が喪失した後も当初の植生状況改善やそれによる土壌物理性改良効果等により、間接的に効果が持続するものと考えられた(小倉ら, 1992)。

また、試験を行った法面のなかで、肥料袋による追加施肥試験を行った開発団地外縁部の山林と接する部分にある法面では、施工10年後の1995年には、ネット工、枠工等の緑化補助工を施工していないにも関わらず、施工以後人手を加えることなくアカマツを主体とする木本が侵入してきていた。これらの法面の勾配は、いずれも植生工だけで永続的に植物を生育させることができると指摘されている勾配よりも急傾斜である。この法面内では、肥料袋工試験区の処理区の内外で木本の侵入本数や生育状況等に差がみられ、追加施肥が、導入樹種選択を

自然に任せた安定した法面植生への遷移に貢献していたと見ることができた。

前述のように法面緑化技術の発達に伴い、現在では目的とする植生を法面環境に応じて早期に成立させる工法が開発されている。しかしながら、法面緑化工において成立させようとしている植生のあり方や成立にいたる期間等は、法面の環境だけでなく事業目的によっても異なると考えられる。農地開発事業では、景観維持のため等に当初から法面の樹林化を行う必要はない。法面保護のために、種子散布工等の比較的低コストの植生工法を採用して急速緑化を行い、時間をかけて目的とする安定した植生の成立をめざす工法を選択することも可能である。その場合、本研究で開発した追加施肥による簡易な保護管理により、安定植生の成立を促すことができると考えられる。

このような緑化工法は、低コストの緑化工法が求められる農地開発事業だけでなく、時間をかけて安定植生への遷移が許され、しかもコスト的に高度な緑化工法の導入が困難な諸外国の法面への適用等が広く考えられる。

IV 東北タイにおける降雨現象の時間的特性把握

東北タイの降雨は、年降雨量の変動が大きいだけでなく降雨パターンの変動が激しいことが特徴となっている。不規則な降雨により洪水や干ばつが頻発し (Hayashi Y. *et al.*, 1989)、各月の雨量も年ごとに変動する (H.N. Phien. *et al.*, 1980)。

このような降雨の特徴は水資源の利用を困難にし農地の利用方式にも影響を与えている。東北タイの水田の大部分を占める天水田では、代かきを行うのに十分な降雨があった後に田植えが可能となるため、労力を多く必要とする水稲移植作業の日程は降雨状況により決定される。また、灌漑施設が備わっている農地であっても、貯水池やため池の貯水量増減パターンも年ごとに変わるため、雨季、乾季ともに灌漑に使える水資源の予測が困難で栽培計画もたてにくい。

一方、一日の中での降雨現象もかなり偏りがみられる。雨季であってもタイ国気象庁の観測 (Meteorological department, 2003) によれば、Khon Kaen の30年間 (1971～2000) の月平均日照時間は、8月は約150時間、6、7、9月は約170時間あり、日中雲に覆われることは比較的少ない。また、土壌侵食等の災害発生と関連の大きい降雨強度の大きい雨についても発生には偏りがある。

集水域がきわめて狭小な小流域における土地、水資源活用を考えるには、短時間における降雨の特性把握が必要である。そのため、2002年5月から2005年2月まで Khon Kaen 県内の小流域で行った降雨観測から、東北タイの降雨について比較的短時間の状況に重点をおいて降雨の特徴を示した (C.Ogura *et al.*, 2007)。なお、この研究は、東北タイ天水地域小流域における水・土地資

源利用の関係を明らかにするための研究の一環として行ったものである。

観測は、Fig.38 に示した東北タイ Khon Kaen 県 Nong Saeng 村内のメコン川支流チー川流域最上流の小流域で行った。この村は、タイの首都バンコクから北東に約400km、Khon Kaen 市の南約30kmに位置し、コラート台地上の標高約200mにあり、台地上とこれを刻む浅い谷に農地がひろがっている。台地上の大部分は現在畑地として利用され、サトウキビ、キャッサバ、陸稲が主に栽培されている。また、谷部は水田として利用され、谷沿いに上流に向かって伸びるとともに、谷の横断方向にも数段の水田が作られている場合が多い。

降雨観測は、転倒ます雨量計により行った。転倒ます容量は、0.2mmで、雨量計作動時刻をデータロガーに記録し、原則として月1回データ回収を行った。データ回収時には雨量計の動作等の確認を行った。記録された観測データはタイ現地時刻 (以下LTと記す) の00LTからの各10分間毎の雨量としてデータベースを作成し、1時間雨量、日雨量等は、10分間雨量データベースから算出した。1時間雨量はLT毎正時から1時間の雨量とし以下00LT～01LTというように表す。日雨量は00LTから24LTまでの累積雨量とした。

タイ国気象庁の観測 (Meteorological Department, 2003 前出) による Khon Kaen の30年間 (1971～2000) の平均気象要素は、次のとおりである。年平均気温26.8度、月平均最高気温は4月の36.4度、月平均最低気温は12月の16.7度である。年平均雨量は、1209.3mmであり、年間平均降雨日数は、106.7日である。月平均雨量は5月から10月まで100mmを超え、月平均雨量が最大となっているのは9月で、236.1mmである。一方、12月



Fig.38 観測地の位置
Location of the observation point

Table 9 観測期間中の月雨量 (mm)
Monthly precipitation (mm)

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Amount
2002					156 [*]	89	64	222	411	178	13	29	1162
2003	0	72	125	11	74	80	101	157	361	17	0	0	998
2004	23	67	2	129	91	165	167	186	122	0	0	0	951
2005	0	0											
Ban Haed**		9	30	68	133	157	126	165	244	76	15	2	1025

* 観測開始日 5月2日

** Ban Haed : 観測点から 8km 1991 ~ 2001 年の平均

と 1 月の月平均降雨日数はわずかに 1 日である。

Table 9 に観測期間の月雨量を、観測点から約 8km の距離にある Ban Haed の 11 年間 (1991 ~ 2001) の平均月雨量とともに示した。なお、観測期間の最後にあたる 2005 年 1 月と 2 月には降雨は発生していない。

東北タイの大部分の地域は、年雨量は 1200 ~ 1400 mm の間である。観測点における月降雨を Ban Haed の 11 年間の降雨と比較した場合、観測期間中の降雨は次のような特徴があった。

- 1) 2002, 2003 年の雨季前半 (6, 7 月) の小雨
- 2) 2002 年 9 月の多雨
- 3) 2002 年雨季の遅い終了 (11, 12 月の降雨)
- 4) 2004 年雨季の早い終了 (最終降雨日 9 月 21 日)
- 5) 2003, 2004 年における、本来乾季である 1, 2 月のまとまった降雨

とくに、2002 年 9 月の月雨量は Ban Haed の 11 年間の最大月雨量を上回っていた他、Ban Haed で 11 年間記録されていなかった 1 月の降雨が発生する等、観測期間は、降雨パターン変動の大きい東北タイにおいても、やや変動の大きい年であった。

1 東北タイにおける降雨の時間配分

1.1 1 日の降雨の配分パターン

1 時間雨量の観測期間中の合計値を **Fig.39** に示した。期間中の合計でみた場合、1 時間雨量は 15LT から夜間にかけて増加する傾向があり 00LT ~ 01LT に最大となった後、未明にかけて減少している。しかし、05LT ~ 08LT にかけても小さなピークがあることが示される。一方、1 時間雨量が最小であったのは 09 ~ 10LT である。また、15LT ~ 03LT までの 12 時間に全雨量の 72% が観測されている。

1 日の中での降雨の時間配分の月別変動を示すため、月雨量を 3 時間毎に 8 分割した上で、降雨が主に発生する夕方から夜間の 15LT ~ 03LT、および比較的降雨が少ない朝の 06LT ~ 09LT の雨量の占める比率を各月毎に **Fig.40** に示した。15LT ~ 03LT に降雨が集中する傾向は、5 月から 8 月までの間は特に大きいことが **Fig.40** に示されている。これに対し、06LT ~ 09LT の雨量の占める比率は 6 月から 8 月まではきわめて少ないが、9 月に増加する傾向があり、2002 年のように 10 月以後まで降雨が

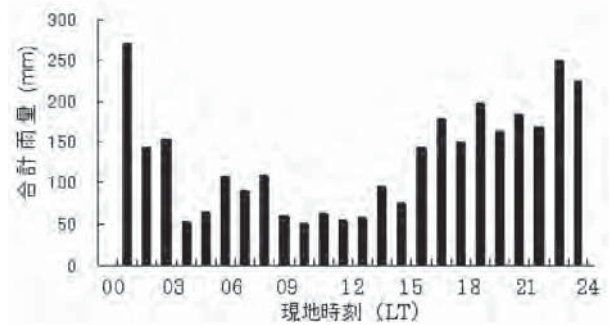


Fig.39 観測期間の合計時間雨量
Total hourly precipitation in all observation terms

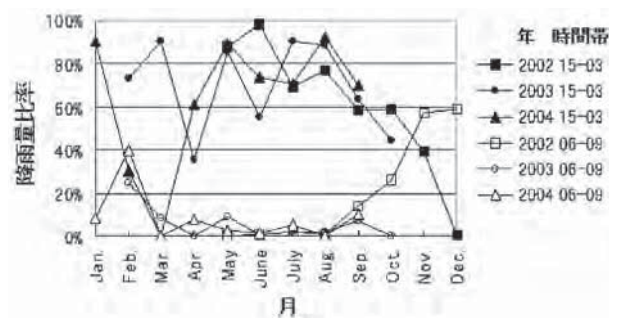
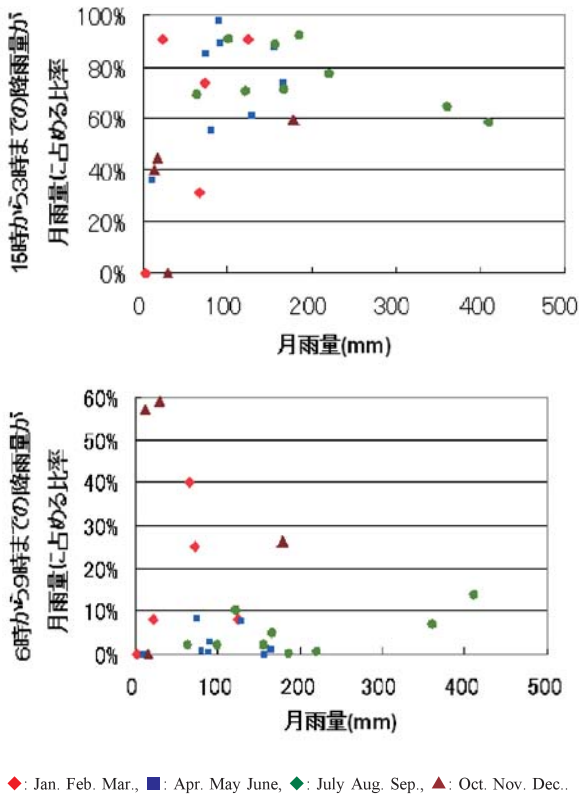


Fig.40 15LT ~ 03LT および 06LT ~ 09LT の月別雨量比率
Concentration of precipitation at 15LT-03LT and 06LT-09LT in each month

継続した場合、および 1 月、2 月に降雨があった場合には、それらの月は 06LT ~ 09LT の間の雨量の比率が高かった。

Fig.41 に、15LT ~ 03LT および 06LT ~ 09 LT の間の月雨量の比率と各月の月雨量との関係を示した。15LT ~ 03LT の間の雨量の比率が 50% 未満であった月は、月雨量が 100mm 未満の月に限定されていた。一方、06LT ~ 09LT の雨量比率が 20% 以上であった月は、月雨量が 200mm 未満の月に限定され、主に通常は乾季となる 10 月 ~ 3 月の間に出現していた。

以上の観測結果から、夕方から早朝の間に降雨が集中する傾向は、雨季の中頃は特に大きいことが示された。しかしながら、雨季の終りには、この時間帯への降雨の集中傾向は低下し、朝の時間帯の雨量の比率が増加する。通常乾季となる時期に降雨があった場合は、雨季の終りの降雨と類似した傾向がみられる。



◆: Jan. Feb. Mar., ■: Apr. May June, ◆: July Aug. Sep., ▲: Oct. Nov. Dec.
Fig.41 15LT ~ 03LT および 06LT ~ 09LT の雨量の比率と月雨量との関連
 Relation between monthly precipitation and precipitation concentration at 15LT-03LT and 06LT-09LT

1.2 最大1時間雨量の出現時刻

Fig.42 に日最大1時間雨量の時刻別の出現頻度を示した。Fig.42 には日雨量 10mm 以上かつ最大1時間雨量 1mm 以上を記録した日について示した。

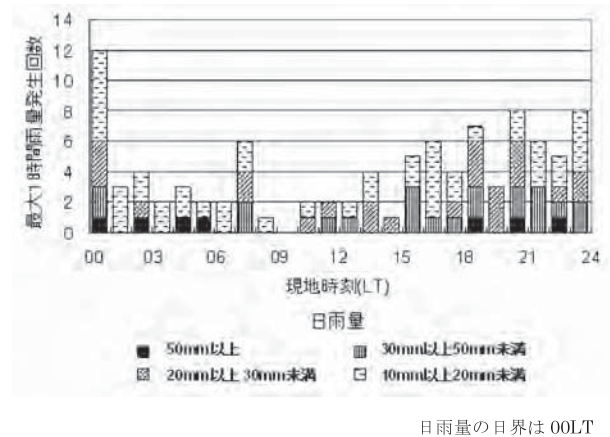
日最大1時間雨量の50%は18LT~01LTの間に出現し、最も多く出現したのは00LT~01LTの間であった。日雨量が20mm未満の場合、日最大1時間雨量が18LT~01LTの間に出現した比率は39%であった。しかしながら、日雨量が20mm以上の場合、同じ時間帯に59%が出現していた。また、日雨量が30mm以上および50mm以上の場合は57%で、20mm以上の場合とほぼ同じ比率であった。

バングラデシュ、タイ、ベトナム、マレーシアの101の観測点での6月から8月までの降雨観測結果から、大部分の観測点では最大降雨は午後または早朝に出現しているという(Ohsawa T. et al., 2001)。Fig.42では最大降雨は夕方から夜間と08LT~09LTに多く出現していることが示されているが、観測地が国内東部にあることを考慮すれば、上記4カ国の3ヶ月間の観測結果と類似した傾向と言える。

2 東北タイにおける高強度降雨発生の偏り

2.1 時間帯からみた高強度の降雨発生

Fig.43は、1日を144分割した各10分間に平均降雨



日雨量の日界は00LT
Fig.42 日雨量別最大1時間雨量発生時刻
 Frequency of occurrence of maximum hourly precipitation by daily precipitation

強度 3mm h^{-1} および 30mm h^{-1} 以上の降雨記録の発生回数を月毎に示している。左のグラフは、降雨強度 3mm h^{-1} 以上、右のグラフは 30mm h^{-1} 以上の10分間降雨発生回数を3時間毎に区分して示している。

2002年および2003年には9月に強度 3mm h^{-1} 以上および 30mm h^{-1} 以上の双方に降雨発生回数の顕著なピークがみられた。しかしながら2004年には発生回数のピークとなる月は発生していない。また、 3mm h^{-1} 以上の10分間降雨の月毎の発生回数変化は月雨量の変化に類似していた。

各10分間の強度 30mm h^{-1} 以上の降雨は観測期間中に128回記録されていた。この中で109回は15LT~03LTの間に記録されており、夕方から夜半に高強度の降雨が多く発生している。これに対し日中後の12LT~15LTの間の強度 30mm h^{-1} 以上の降雨の発生は9回にとどまっており、発生は8月と9月に限られていた。さらに03LT~12LTまでの間には、強度 30mm h^{-1} 以上降雨は観測期間中に10回しか発生していない。これを月別にみた場合、早朝の03LT~06LTの記録は雨季の始まりと終わりである4, 9, 10月にだけ発生し、06LT~09LTの記録3回中2回は本来乾季である2月に発生している。Fig.43には、06LT~09LTの強度 3mm h^{-1} 以上の降雨は9月以後と4月以前にほぼ限定して発生しており、4月~8月までの間の発生は少ないことが示されている。したがって、06LT~09LTの時間帯では、強度 3mm h^{-1} 以上の降雨は主に雨季の終わり頃から本来乾季の期間中に発生したが、 30mm h^{-1} 以上となることは少なかったとみることができる。

Fig.44には強度 18mm h^{-1} 以上の降雨が30分以上継続した場合の継続時間と降雨開始時刻との関係を示した。 18mm h^{-1} 以上の降雨が30分以上継続した降雨は観測期間中29回出現しており、降雨開始時刻は18LT~03LTの間となっている場合が多い。しかしながら、50分以上継続した降雨についてみた場合、降雨開始時刻は特定の時間に集中していない。

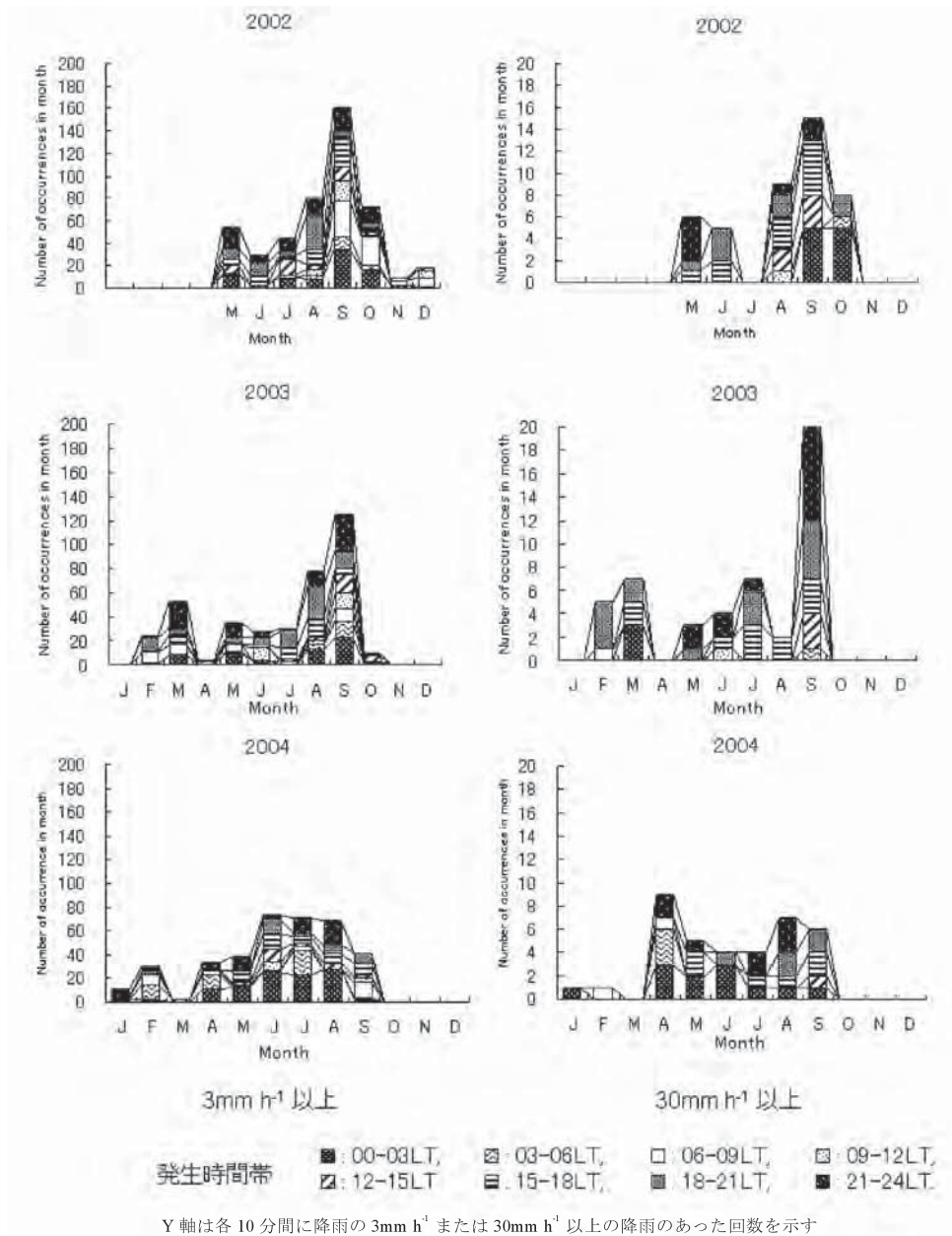


Fig.43 時間帯別各10分間の降雨発生頻度
Relation between 10 min precipitation occurrence and time

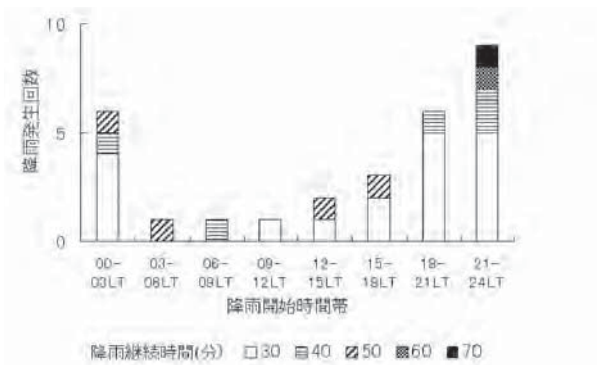


Fig.44 強度18mm h⁻¹以上の降雨の継続時間と降雨開始時間帯との関係
Relation between occurrences of continuous precipitation (>= 18mm h⁻¹) and start time of precipitation

2.2 高強度降雨発生の月別特徴

3mm h⁻¹ および 30mm h⁻¹ 以上の10分間降雨の毎月の発生回数と月雨量に対し 30mm h⁻¹ 以上の降雨による雨量が占める比率を Table 10 に示した。Table 10 には、2002年7月、2003年8月、2004年6月および7月のように 3mm h⁻¹ 以上の降雨発生回数に対する 30mm h⁻¹ 以上の強い雨の出現頻度が前後の月より低い月が毎年現れていることが示されている。特に2002年は7月には 30mm h⁻¹ 以上の雨は発生していなかった。これらの月では、総雨量に対して 30mm h⁻¹ 以上の雨による雨量の比率も低かった。

なお、東北タイでは雨季の中頃にドライスペルと呼ばれる降雨の少ない期間が現れる。観測期間中の日降雨1mm以下の日が続いた期間は以下に示すとおりであった。

Table 10 月別各 10 分間降雨の発生回数と 30mm h⁻¹ 以上の降雨が月雨量に占める比率
Monthly frequencies of precipitation occurrence and ratio of gusty rain

	2002 年			2003 年			2004 年		
	10 分間降雨発生回数 30mm h ⁻¹ 以上	3mm h ⁻¹ 以上	30mm h ⁻¹ 以上の 降雨が月雨量に 占める比率	10 分間降雨発生回数 30mm h ⁻¹ 以上	3mm h ⁻¹ 以上	30mm h ⁻¹ 以上の 降雨が月雨量に 占める比率	10 分間降雨発生回数 30mm h ⁻¹ 以上	3mm h ⁻¹ 以上	30mm h ⁻¹ 以上の 降雨が月雨量に 占める比率
Jan.					0		1	11	31%
Feb.				5	24	53%	1	30	8%
Mar.				7	53	39%	0	2	
Apr.				0	4		9	34	59%
May	6	55	34%	3	36	35%	5	38	36%
June	5	29	39%	4	27	40%	4	73	20%
July	0	44		7	31	54%	4	71	16%
Aug.	9	80	37%	2	78	12%	7	69	34%
Sep.	15	160	31%	20	125	45%	6	41	42%
Oct.	8	72	32%	0	10			0	
Nov.	0	9			0			0	
Dec.	0	18			0			0	

2002 年 7 月 18 日～7 月 27 日

2003 年 7 月 15 日～7 月 25 日

2004 年 6 月 17 日～7 月 4 日

2002 年と 2004 年は高強度の雨の少なかった月はこの期間に重なっている。一方、2003 年は重なっていない。したがって、高強度の降雨の少ない時期とドライスペルは必ずしも一致していない。

2.3 一降雨内の雨量配分

各 10 分間毎の降雨記録について、記録のない時間帯から最初に記録が出現した時刻を降雨開始時刻、各 10 分間降雨記録が連続している間を一降雨とし、その継続

していた時間を降雨継続時間とした。この定義による降雨は観測期間中に 1074 回出現した。Table 11 に、各降雨を継続時間と総雨量とによって分類した結果を示した。1074 回の降雨中 59% は継続時間 10 分であり、68% は雨量 1mm 未満であった。これに対し、総雨量 10mm 以上となったのは 7% の降雨に過ぎない。また、継続時間が 60 分、120 分を超えた降雨はそれぞれ 12%、4% であった。

最も長時間継続した降雨は、2002 年 7 月 3 日 9 時 40 分を開始時刻とした降雨で継続時間は 6 時間 10 分であったが、雨量は 18.8mm にとどまっている。また、一降雨

Table 11 一連続降雨の継続時間および総雨量別発生回数
Number of precipitation events classified by rainfall duration and rain total

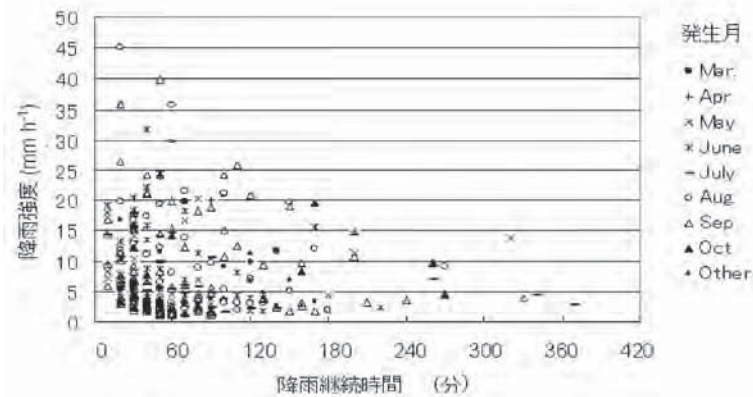
降雨継続時間 分	降雨発生回数							
	1mm 未満	1mm 以上 3mm 未満	3mm 以上 5mm 未満	5mm 以上 10mm 未満	10mm 以上 20mm 未満	20mm 以上 30mm 未満	30mm 以上 40mm 未満	40mm 以上
10	620	10	3	0	0	0	0	0
20	76	23	7	3	2	0	0	0
30	20	24	14	18	1	0	0	0
40	9	25	5	5	6	1	0	0
50	0	23	5	8	4	3	1	0
60		18	3	3	4	1	1	0
70		6	2	5	3	3	0	0
80		6	5	4	2	2	0	0
90		7	3	4	2	1	1	0
100		0	1	4	2	1	2	1
110		0	1	1	1	1	0	1
120		0	3	2	3	2	0	1
130		0	1	8	0	1	0	0
140		0	0	3	0	1	0	0
150		0	1	0	2	0	0	2
160			0	2	0	2	0	0
170			1	1	0	0	1	2
180			0	1	1	0	0	0
>180			0	1	3	3	3	5
合計回数	725	142	55	73	36	22	9	12

で最も雨量が多かったのは2002年5月26日20時40分を開始時刻とする74.0mmの降雨で、継続時間は5時間20分であった。

Fig.45に、一降雨の継続時間と平均降雨強度との関係を示した。Fig.45 A図は発生月、B図は降雨開始時刻毎に示した。Fig.45には降雨継続時間が長いほど、平均降雨強度は低い傾向にあることが示されている。平均降雨強度 25mm h^{-1} 以上の降雨は、8月および9月に主に発生する傾向がある。これらの降雨の継続時間は1時間以内であった。また、これらの降雨の開始時刻は、12LT～21LTの間であり、短時間の高強度の降雨は、8月と9月の午後から夜までに多く発生していた。一方継続時間が4時間を越える降雨は、大部分が21LT～24LTの間が開始時刻となっている。

Fig.46に、降雨開始から各降雨の最大降雨強度になるまでの時間を示した。最大降雨強度 15mm h^{-1} 以上の降雨の場合、61%の降雨は開始時刻から20分以内に最大降雨強度に達している。また、最大降雨強度が大きくなるにつれ、到着時間は遅くなる傾向があった。本研究では降雨の集計単位を10分として降雨を取り扱ったが、この単位集計時間をさらに短時間とした場合、降雨開始から最大降雨強度への到達時間をさらに短い確かな時間で表現できると考えられる。

A 降雨発生月別



B 降雨開始時間帯別

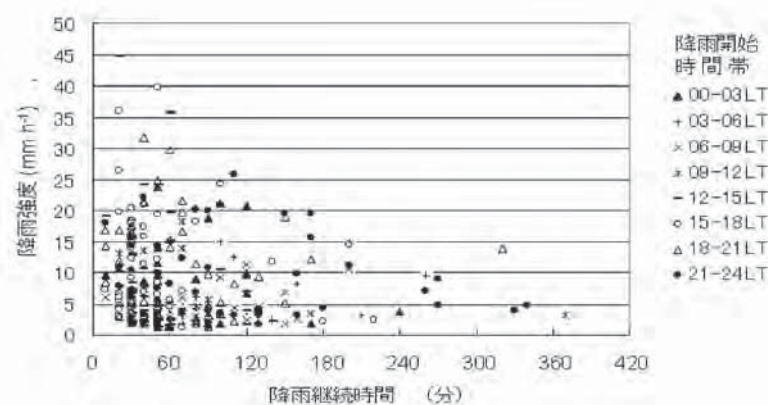


Fig.45 降雨継続時間と平均降雨強度との関係
Relation between rainfall duration and rainfall intensity

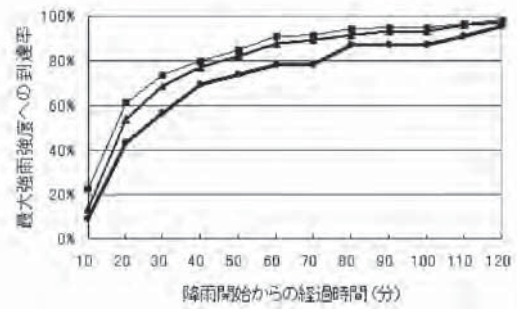


Fig.46 一連続降雨の開始から最大降雨強度までの到達時間と最大降雨強度との関係
Arrival time of maximum rainfall intensity of precipitation events from the rainfall started

3 結果の摘要

観測点周辺では、畑において水食によるガリの発生がみられるだけでなく、水田においても越流水による畦畔侵食が発生し、さらにそれらが連続してガリ状になっている事例もみられる。畑のガリ侵食は、休閑中の畑だけでなく、キャッサバや陸稲が栽培されている畑でも発生している。一方、水田の畦畔侵食は観測期間中では水稲

栽培期間中に限って発生していた。

豪雨は、以上のような災害の主な要因の一つであるが、反面、通常地表を流れる水がみられない台地内最上流部小流域では、水資源を獲得する貴重な機会である。東北タイでは多数のため池が構築されており、観測点が位置する小流域においても、農家自身や農業協同組合省の機関によってため池が構築されている。これらのため池の水は、前述のように補給的な灌漑、家畜飲雑用水、自家消費用の魚の養殖および生活用水等に使われている。しかしながら、谷底に位置する池を除き、雨季であっても地表水の流入は豪雨発生時に限られていた。これらの池では流入出を制御する施設は設置されておらず、大多数の池は水路にも連続していない。池の水を灌漑に利用するときは、エンジンポンプまたはじょうろが利用されている。

天水地域において、水資源を効率的に活用していくためには、水管理技術や集水技術等を開発していく必要がある。しかし、観測結果から、降雨の配分が夜間に偏っているばかりでなく、強度の大きい降雨も主に夜から夜半にかけて発生していることを示した。また、降雨開始から最大強度に達するまでの時間も20分以内の場合が多い。東北タイの農村集落は大部分が集村であり、住居と圃場は離れていることが多い。そのため、農民は降雨が集中して発生する夜から朝までは圃場には滞在していないので、農民がシステムを操作することは難しい。集水や水管理の技術開発にあたっては、これらの点を考慮する必要がある。

また、観測を行った3年間では雨季の中頃に高強度の降雨の発生が比較的少ない時期が毎年現れた。今後、更に多数の地点における長期の観測データの解析により、同一の傾向が見いだされれば、畑作物の生育ステージの植被が低い時期を、この高強度の降雨が少ない時期にあわせるように栽培を計画することにより、畑地のガリ侵食を減少させることができる可能性がある。

V 条件不利地における農地の保全と農業基盤整備の意義

序論でも述べたように、現在中山間地域では、「限界集落」と呼ばれる消滅の危機にある集落が多く存在している。また、耕作放棄地拡大や獣害も社会問題化してきている。農林業センサスによると、全国の耕作放棄地は2005年までの20年間で約3倍の38万6000haに増え、経営耕地面積が360万8000haに減る中、放棄地率は1985年の2.9%から、2005年に9.7%に急増し、地域別では、山間地域14.7%、都市的地域12.8%、中間地域12.6%になっていると、日本農業新聞は指摘(日本農業新聞, 2007)している。しかし、農林水産省構造改善局はすでに1991年に耕作放棄は中国、四国、東山等の山間部を中心として進んでおり(農林水産省構造改善

局, 1991)、なかでも中国地方は耕作放棄地が耕地面積の20%以上をしめる集落の割合が14.7%と全国で最も高く、農地荒廃が最も進行している地域であるとの調査結果を示している。

1 中国地方中山間地域における耕作放棄と圃場条件

中国地方は、大部分が経済地帯区分上、中山間地帯に区分される。この地域は中国山地と重なるが、この山地の特徴として吉備高原、石見高原などの侵食小起伏面が発達していることがあげられる。これらの高原上には多くの集落が存在しているが、過疎化現象等も早くから発生していた。過疎化は、山陰側の積雪地帯や大都市から離れた中国山地中央部だけでなく、瀬戸内に近い都市近郊の地域でも進行していた。農林業センサスを利用した調査によれば、広島県東南部の府中市には、1985年までの25年間に153戸880人であった農家人口が戸数は25%、人口は16%にまで減少し、経営耕地面積は11%にまで減少した地区が存在した(小倉ら, 1989)。この地区内には、農家人口に占める60歳以上の比率が75%という集落が1985年時点ですでに存在していた。また、府中市に隣接する芦品郡内には、1959年まで村役場がおかれていた集落でありながら、同じ期間に農家戸数が9%、人口は3%にまで減少し、1985年には3戸5人を残すだけとなっていた農業集落も存在した。このように1985年には現在限界集落と言われる状況にあてはまる集落がすでに多数発生していたことになる。また、両地区に近い神石郡内の集落では、獣害も深刻な問題となっていた(橋本, 1985b)。このような状況について、1990年より前に、中山間地域の過疎化や農業就業人口の高齢化による農地管理能力の低下への懸念や、農地の荒廃防止は解決に急を要する課題であることや、居住空間と狭小な農地が混在する中国地方のような地域では、定住環境を確保する意味からも農地荒廃の防止が必要との指摘(前出 小倉ら, 1989)を行っていた。

農地の荒廃を防ぐには、すでに耕作放棄された農地の条件を求め、荒廃に至った圃場の問題点を明らかにすることが重要である。農地が耕作放棄されるにあたっては、人的、社会的要素を含めた様々な条件が関与していると考えられるため、中国地方の中山間地域を対象に、耕作放棄された圃場各区画の物理的条件と放棄順序等について調査し考察を行った。また、放棄された農地だけでなく、中核的農家が借地を行って規模拡大に利用している農地等についても調査を行い、農地の耕作を継続し農村空間の維持を図る方策を求めた。

調査は、前述の広島県芦品郡内の1959年まで村役場があった地区の他、過疎化や耕作放棄が進行してきている中、農地整備や農地開発を行い農業の振興を通じ地域の維持を模索していた地区として、広島県神石郡および島根県邑智郡内において各一ヶ所を調査地として選定し、農地の維持を図るための圃場条件を求めた。農地の

耕作放棄の状況は国土地理院等が撮影した空中写真を主に利用し、地籍集合図等の資料提供を自治体から得られた地区ではこれらの資料で補完した。これらの研究にあたっては、農地の利用状況や圃場条件について、できる限り農地の最小単位である一区画毎に把握するようにした。

芦品郡内の地区では、村役場はじめ集落の中心は幹線道路から約 250m の標高差を上った比較的標高の高い位置にあった。水田は主に人家と幹線道路のある谷等との間の支流の谷沿いに細長く伸びる形となっていて分布していた。この地区で 1966、1974、1983 年に撮影された空中写真を利用して調査した結果では、1965 年以前の耕作放棄は勾配が急な谷にある水田等に限られていたが、1966 年には勾配が急であっても谷幅の広い部分にある水田は耕作が継続していた。しかし、1973 年までには勾配 1/10 以上の水田は人家に近い水田も含め放棄が進み、1974 年に主に耕作が継続されていたのは人家との距離が離れていても緩勾配の所にある水田であった。この調査結果から居住条件に影響を及ぼす可能性が高い人家に隣接する水田であっても、圃場条件が不良であれば荒廃が早期に進行することを明らかにした（小倉、1988）。

中山間地域において保全可能な農地の水準を求めると、石見高原上にある島根県邑智郡内 Y 地区において、1988 年に未整備で維持されている水田の圃場条件を調査した。その結果、区画面積が大きくなるにしたがって維持されている割合が増加し、5a 以上はほぼ 100% 維持されている。一方、1a の水田でも 4 割が維持されている。区画面積と勾配の両面から検討すると、Fig.47 に示すように勾配 1/20 未満の所にある水田では、区画の小さい圃場でもほぼ 100% 維持されているのに対し、1/20 以上 1/10 未満では 2a 以下の圃場の維持率が低くなっている。また、勾配 1/10 以上になると区画の大きい圃場も維持されるとは限らない（小倉、1990）。また、この地区では、農地の借入れを積極的に行い経営規模拡大を行う中核的農家も存在した。後継者他出等により経営規模を縮小した農家の農地は、貸借の対象となることにより耕作放棄地となることを免れ地域資源の維持につながる。この地区での調査結果では、貸借の対象となっていた農

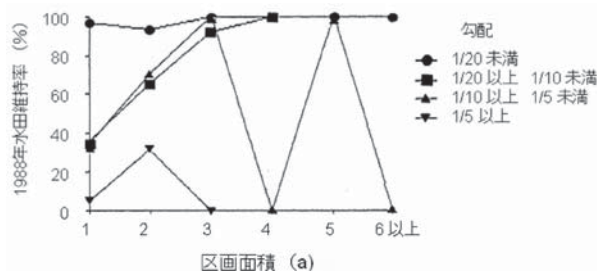


Fig.47 水田の圃場条件と 1988 年の維持率
(島根県邑智郡 Y 地区)

Maintenance ration for 1988 and condition of paddy field

地は、主に整備された水田と勾配 1/10 以下の未整備水田および 1973 年以降造成、整備された畑であった（小倉、1990 前出）。この地区の主要な作物はタバコであり、中山間地域の活性化には畑地の新規造成・整備も重要な条件であることを示した。

また、広島県神石郡の吉備高原上の地区での 1961、1974、1989 年撮影の空中写真を主に利用した調査の結果（小倉、1993）では、1989 年における放棄地の発生は 1/12 より急勾配の水田に限られていた。また、水田部の谷幅 15m 前後以下の狭小な谷沿いの水田では、勾配 1/10 がほぼ存続の限界となり、存続の境界付近の条件の水田では、農地整備が行われた圃場だけがほぼ維持されていた。さらに、整備が行われた圃場は、他出農家の所有地や水張り面積 1a 程度の耕区も含め完全に維持されており、放棄される危険性の高い圃場条件の水田では、農地整備が保全のための重要な要件となっていることを示した。この地区でも、高齢化や他出により所有者自身による管理が困難になった農地について、石見高原上の調査地区と同じように中核的専業農家により維持することが考えられていた。しかし、山間棚田で圃地規模も小さい地区では水稲作での経営展開は難しく、専業農家の経営展開と地域の農地を面的に維持管理することが整合的でないと指摘（安藤、1991）も当時行われていた。

この地区では 2006 年においては、地区周辺部の集落で廃屋が目立つようになり、水田の耕作放棄地は未整備地を中心に広がる一方、農地造成により開発された畑の利用は継続していた。

2 急傾斜畑作地域における畑の利活用

30° を超えるような斜面を農地として利用した場合、土壌侵食等が発生し、一般に普通畑としての利用は困難である。しかし、関東甲信越や四国山地等西日本外帯の山地には、30° を超える急傾斜地を樹園地や普通畑として利用している地域が多くある。このような地域の急傾斜の畑は侵食を受けにくい土壌からなっているが、管理作業や資材、生産物運搬等に要する労力負担は大きい。

このような、急傾斜地の農地の維持条件を検討するため、山梨県東部の急傾斜地主体の村で調査を行った。その結果、おおむね 35° が勾配を修正せずに利用する限界であり、これを越える勾配の畑で 1998 年に作物の栽培が行われている圃場では、永久構造物である石積みその他、木材、ガードレール廃材等の廃材を利用した簡易な保全構造物を配置して傾斜の修正を行っている場合が多かった。また、野菜類の生産の対象となるのは接道条件のよい圃場に限定されていた（小倉ら、1999）。同じ地域内の O 地区の斜面傾斜 23 ~ 25° の畑圃地において、農道設置の効果をアンケートにより調査した結果、農道開通前後の農地利用の変化をまとめ Fig.48 に示した。31% にあたる 13 区画は農道開通後に作付が再開されていたが、このうち 5 区画は農道開通と同時に、8 区画がその

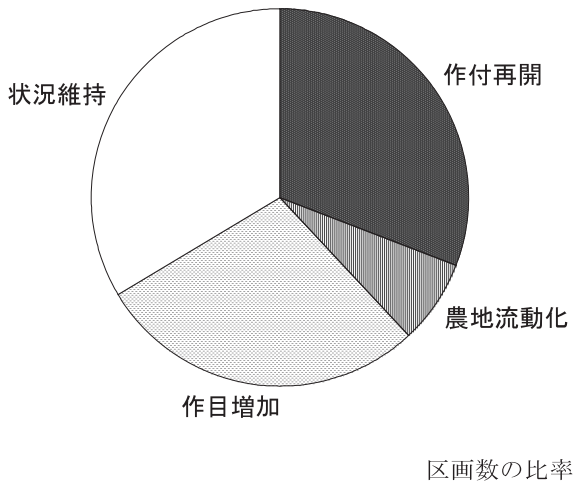


Fig.48 急傾斜畑への農道設置が農地利用に与えた影響 (山梨県 T 地区)

Influence of establishment of farm road in steep hilly area on agricultural land use

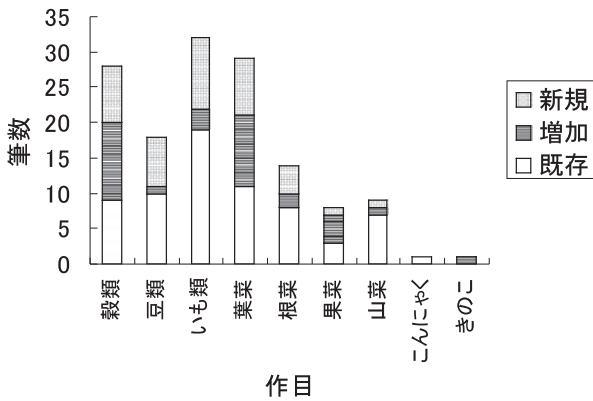


Fig.49 急傾斜畑への農道設置と栽培作物との関係 (山梨県 T 地区)

Relation between establishment of farm road of steep hilly area and cultivation

後に作付が再開されている。また、12区画では農道開通後、栽培作物が増加し、3区画は貸借や売買等が行われた。また、各圃場に栽培されている作物を調査し、Fig.49に示した。農道開通後、穀類、葉菜類の栽培が行われるようになった圃場が多いことが明らかとなり(小倉ら, 2000)、急傾斜地の畑でも接道条件の改善で農業活性化が図れることを示した。

3 中山間地域農地の保全と農業基盤整備技術

中国地方中山間地域における調査から、水田は急勾配の圃場から早期に放棄され、谷線勾配 1/10 以上の水田の場合、農地整備が行われていない状態では人家との距離が近い圃場も早期に放棄される一方、水田部分の谷幅が広い部分にある圃場は耕作が継続される傾向にある

ことを明らかにした。調査時点では、勾配、谷幅の条件で地区内では存続限界にある水田でも、整備された圃場で放棄地の発生はみられなかった。第II章で研究対象とした耕区は人家に隣接した勾配 1/10 以上の水田であり、未整備の場合は放棄されて周辺の居住環境にも影響を与えていた可能性もあった。このような水田を適切な施工により整備していくことは、地域を保全していく上からも重要である。また、所有者の高齢化や離村により管理困難になっている農地を保全していくには、その農地が借地等により流動化し中核的農家の経営規模拡大に利用されることが重要である。調査地区では、整備済みの水田は他出農家の所有地も含め全て維持されていたが、畑についても中核的農家が借り入れている圃場は、整備や新規造成された畑が主であり、農業基盤整備が中山間地域の農地の保全に重要な役割を担っていることを明らかにした。中山間地域の農地の整備を進めるには、所有者等の負担を軽減する必要がある、法面緑化ははじめ農地整備技術の低コスト工法開発は重要である。

法面緑化において植生工だけで植物を永続的に生育させることができる限界と同じ傾斜 35° の斜面であっても、土壌条件等によっては、傾斜を修正せずに普通畑として利用されることを明らかにした。また、傾斜 23~25° の斜面上の畑でも、接道条件の改善で農地利用の活性化が図られることを明らかにした。これらの結果は、中山間地域の活性化を図るため、土地利用を個別に考えていくにあたり示唆を与える結果である。

VI 結言

1 研究対象地をとりまくその後の状況

現在、日本の中山間地域が抱える課題は本研究を開始した当時に比較して、深刻さを増している。

1982 年以来、傾斜地水田整備の主要研究フィールドとして調査を行ってきた広島県営農村基盤総合整備パイロット事業により整備された耕区は、2006 年には Fig.19 にも示されているようにイノシシ防御の柵に囲まれ、所有する農家は依然として継続する水稻の生育むらよりも、集落中心部の水田にまでイノシシが入り込むようになったことを大きな問題として語っていた。また、周辺にある調査耕区と同じ事業で整備された水田には、整備済みであっても利用されていない耕区がみられた。この地区は、中山間地域としては圃場条件だけでなく、Fig.7 に示されるように高速道路や鉄道駅にも近く交通その他の条件にも比較的恵まれた所ではあるが、このような地域であっても事態が深刻化していることがうかがえた。

また、中山間地域の農業振興の期待を担って、各地に開発された機械化営農に対応した農地もそのすべてが有効に利用されているとは限らない。この中で法面緑化試験を行った開発圃地は 2007 年においてもすべての畑が

利用されている。また、その他の地域でも試行錯誤を重ねながら、地域の特産農産物の生産の場となるなど、開発農地が地域にとって欠くことができない場になっているところも多い。

2 研究結果の概要

2.1 傾斜地水田整備における基盤造成の重要性

圃場整備施工直後の水田の断面構造を検討した結果では、整備前にみられた耕盤と地盤の分化がみられないばかりでなく、表土扱いが行われたにも関わらず固相率の増大、透水係数の著しい低下等、表土の土壌物理性は整備前とは大きく変化し、全国の水田土壌における測定値と比較しても異例の値となっていたことを明らかにした。圃場整備後の傾斜地水田において耕区中央部の「置き土」部分に発生していた水稻の生育むらについて着目した調査では、耕区全体の地耐力分布を計測することで、生育むら発生部分では耕盤が欠落した形となっていたことを明らかにした。また、この部分では地耐力が低だけでなく、少なくとも60cmの深さまでの土壌は、全層が整備前の旧表土からなっていることを明らかにした。耕区中央部の水稻生育むらはその後も毎年発生し、深さ30cmの地耐力が耕区中央部だけ低い状態も継続した。整備後15年を経過した1997年の調査においても耕区中央部は、基盤の地耐力、土色等において周辺部と異なる状況を示していた。さらに、水稻の生育むらは整備後25年を経た2007年になっても完全に解消せず、整備施工時の影響が長期間にわたって及ぶことを示した。傾斜地水田の圃場整備では、基盤から再造成することになる。傾斜地水田の圃場整備では、当初から基盤造成等を適切に行い農業生産に適した構造物を造ることの重要性を示した。

2.2 低コスト法面緑化工法の開発

また、改良山成畑工法による農地造成に際し、法面保護のために施工される緑化工として広く利用されていた種子散布による植生工に対し、比較的簡易に行える保護管理工法として、化成肥料の散布と不織布の袋に緩効性肥料とパーミキュライトを詰めた肥料袋による追加施肥の試験を行い効果を検討した。その結果、植被率の低い裸地に近い法面を対象とした肥料散布による追肥試験では、播種されていた牧草の生育量が増大し、植被率の向上を図ることができたとともに、施工4年後時点では播種した以外の植物の侵入も認められた。また、肥料袋工の試験では、肥料袋に沿った部分のレッドトップを成長、繁茂させ、ベルト状の植生帯を形成させることができた。これにより単に植被率を向上させるだけでなく、表層土壌が安定し、植物侵入の条件が確保できた。また、これらの試験の処理区では土壌物理性に対しても効果を認めることができた。

緑化工の成否は保護管理工によるところが大きい。本試験の結果、きめの細かい保護管理工を行えない場合に

においても一回の施肥を効果的に行うことで、法面植生の育成が可能であることを実証した。

また、山林と接する開発団地外縁部の法面では、外来牧草を利用した種子散布工による植生工を単独に施工する緑化工法でも、施工10年後には木本の侵入が生じること、および簡易な保護管理工開発のための試験として実施した肥料袋による追加施肥の実施が木本の侵入にも影響を及ぼしていることが示された。この結果、施工や保護管理コストを最小限としながら時間をかけて安定植生を成立させていく法面緑化工法開発のための知見を得ることができた。この成果は、国内の農地開発のような事業だけでなく、時間をかけて安定植生の成立を目指すことが許される法面緑化に広く適用することが可能と考えられる。

2.3 短時間でみた場合の東北タイ降雨の特徴

東北タイの天水依存地域では、各年の降雨条件の相違により、水資源や土地資源の状況は年毎に大きく変動する。東北タイの降雨特性については、年間を通して見た場合の偏在や変動という視点から多く検討されてきた。しかし、偏在している降雨を効率よく利用するためには、季節的には偏在する降雨が集中して発生する時間帯の季節的変動等の短時間における降雨現象の特性を把握する必要がある。また、この地域は土壌侵食が多発する。土壌侵食は主に降雨強度の大きい雨の降り方に影響されるため、この出現についても発生時間帯等を細かく見た状況を明らかにしておく必要がある。このため、降雨の偏在や強度の大きい降雨の出現について短時間毎の降雨特性の把握を行った。

その結果、年間の平均では、降雨は夜から早朝までに集中する。しかし、雨季の終り頃はこの時間帯への集中割合は減少し、朝の降雨比率が増加する。観測期間中には通常は乾季となり降雨の発生自体が少ない1月、2月に降雨があった。この時期の降雨の時間的配分は雨季の終り頃に類似した傾向があった。

また、日最大1時間雨量は50%が18LT～01LTの間に現れていた。日雨量が多い日は1時間最大雨量の発生はこの時間帯にさらに集中する傾向がみられた。

30mm h⁻¹以上の強度の大きい降雨についてみると15LT～03LTに集中しており、12LT～15LTでの発生は8、9月に限られていた。また発生頻度を月毎に見た場合、30mm h⁻¹以上の降雨の出現頻度の割合は、前後の月と比べて高強度の発生頻度の割合が低い月が雨季の中頃に毎年現れていた。この月はドライスペルが出現しているとみられる月とは必ずしも一致していない。

連続1降雨の59%は継続時間は10分であり、68%は降雨量1mm未満であった。継続時間が短く平均降雨強度の大きい降雨は、8月および9月の午後から夜間に多く発生していた。また、継続時間4時間以上の降雨は、大部分が21LT～24LTの間に降り始めていた。最大降雨強度15mm h⁻¹以上の降雨の場合、61%の降雨で開始

から20分以内に最大降雨強度に達している。

観測結果からは、降雨は主に夜間から未明の時間帯に発生し、特に一日の中で最大1時間雨量が最も多く発生するのは深夜0時からの1時間であった。また、災害の要因となる高強度の雨も夕方から未明に多く発生する。前述のように東北タイの農村は集村であり、降雨が集中し、しかも高強度の降雨が発生する時間帯に圃場に農民は通常いない。また、雨が降り始めてから最大強度になるまでの時間も20分以内の場合が過半であり、しかも、東北タイの降雨は局地的であり、住居と2~3km離れた圃場では降雨時間帯がずれる場合もある。したがって、利水や防災のための水管理システムを開発する場合、降雨状況に応じた操作を人手により行うようなシステムは実用化が困難である。

一方、高強度の降雨の発生が少ない時期が雨季の中頃に確実にあるとすれば、降雨パターンにあわせた栽培を計画することで、水食防止の可能性があることも示している。しかし、以上の結果は、1調査点における3年間の結果から得られた結果であり、今後、多数の地点における長期的な観測により、解析を行う必要がある。

2.4 中山間地域における農地整備と農地の保全

中山間地域の過疎化、高齢化とそれに伴う耕作放棄の問題が中山間地域の定住条件を脅かす問題となっていたことを1990年前後に指摘した。さらに、わが国の中山間地域のなかでも過疎化、高齢化が先行している中国地方において耕作放棄と圃場条件との関連について検討した結果、1990年前後の時点では耕作放棄による農地荒廃に対し、農地整備、農地開発等の農業基盤整備が防止効果をあげていることを示すことができた。しかし、その後も、中山間地域の人口減少は継続し、「限界集落」という言葉が一般化するところまできている。

耕作放棄は、人的、社会経済的条件や人的要因など様々な要因が関係している。保全活用されている農地と放棄された農地について圃場条件の点から検討した結果、調査を行った各地区においては農地整備が行われていない場合、人家が近い圃場も含め急勾配の圃場から早期に放棄される傾向にあることを明らかにした。また、整備が行われた場合は、他出した農家の圃場等を含め維持されており、農業基盤整備事業は、農地の保全だけでなく農地流動化による中核的農家の規模拡大等、農地の積極的な活用にも一定の貢献をしていることを明らかにした。また、斜面傾斜23~25°の急傾斜地の畑でも農道新設が営農再開だけでなく農地流動化や作目拡大の契機となっており、同様に中山間地域の農地利活用に対する農業基盤整備事業の効果を示した。

3 むすび

農業基盤整備事業は中山間地域の条件不利地において、その条件を緩和し農地、地域を保全していく有効な手段の一つであることを第5章で示した。農地整備や造

成によって造られる水田や畑は、土そのものを生産に利用する特殊な土木構造物である。直接生産機能を持つ圃場だけでなく、付帯する法面等に求められる条件も道路等の他の土木構造物と同一ではない。このため、中山間地域の農地整備をより効果的に行うための工法開発等について第2章および第3章で述べた。また、条件不利地の条件を緩和し持続的な農業を実現する必要性はわが国だけの問題ではない。そのための資源利用技術開発に必要な最も基礎的な事象である降雨現象について、現在条件不利地とされる東北タイにおいて利用技術開発上の問題点を指摘した。

わが国の中山間地帯も、東北タイコラート台地も、元来は豊かな資源が存在し、それらを活かした農業と生活が営まれてきた。しかし、いわゆる近代化が進む中、地域を支える基幹産業である農業は、他地域や他産業との競合にさらされ、効率化を余儀なくされてきた。その結果、それらの地域固有の自然条件は不利な要因として働き、条件不利地として扱われるようになってきた。

これらの地域の不利とされる条件が少しでも緩和でき、地域の風土に根ざした持続可能な農業生産を実現できるように研究を行ってきた。この結果をとりまとめた本論文が微力ながら真にそれぞれの地域に貢献できることを願って止まない。

参考文献

- 1) 安藤益夫 (1991): 中山間地帯における基盤整備の償還金負担問題, 中国農業試験場総合研究成果資料 (2), p.54-67.
- 2) 安保 昭 (1983a): のり面緑化工法, 森北出版, p.15.
- 3) 安保 昭 (1983b): のり面緑化工法, 森北出版, p.186.
- 4) 青野壽郎・尾留川正平責任編集 (1967): 日本地誌第9巻, 二宮書店, p.413.
- 5) J.S. Caldwell, S. Sukchan, W. On-ok, C. Satravaha, C. Ogura, Y. Yamamoto, P. Prapin (2002): Farmer Perceptions of Water Availability, Soil Erosion, and Yield Relationships in Rainfed Paddy and Upland Fields on Two Transects in a Watershed in Nong Saeng Village, Khon Kaen Province, Thailand, *JIRCAS JOURNAL*, **10**, p.31-40.
- 6) 中国新聞社編 (1967): 中国山地 (上), 未來社.
- 7) 土壤物理学会 (2002): 新編土壤物理用語事典, 養賢堂, p.178-179.
- 8) 岩手大学農地造成研究会 (1986): 破砕転圧工法による傾斜地水田の圃場整備, 畑地農業振興会.
- 9) 木田和幸 (1976): 講座 緑化工4. 植生工とその適用, 土と基礎, **24**(1), p.79-85.
- 10) 北浦 務・赤嶺 壽・尾崎保雄・早田義範 (1986): 圃場整備の留意点, 農土誌, **54**(3), p.23-28.
- 11) 小橋澄治 (1995): 法面の安定と緑化に関する最近の課題, のり面緑化の最先端, ソフトサイエンス社, p.91-104.
- 12) 小橋澄治・山寺喜成 (1975): 講座 緑化工3. 緑化基礎工,

- 土と基礎, 24(1), p.73-79.
- 13) 小出 剛 (1977): 農用地の拡大技術とその課題, 農土誌, 45(1), p.42-46.
- 14) 国際協力事業団 (1991): タイ国東北タイ塩害地域農村総合開発計画調査主報告書.
- 15) 駒走裕之・谷口美津男・坂手三千兵 (1997): 植生マットにおける木本植物の導入, 日緑工, 22(1), pp.32-33.
- 16) 倉田益二郎 (1979): 緑化工技術, 森北出版, p.205.
- 17) 久津那浩三・飯田周治・新村嘉男・上村 晃・瀬川篤忠 (1972): 水田の基盤整備に関する研究 (第1報) 土壌の理化学的性質の変動とこれが水稻の生育におよぼす影響, 日土肥誌, 43, p.165-171.
- 18) 長堀金造・佐藤晃一・丸山利輔・竹中 肇 (1973a): ケイハン造成について-傾斜地水田における農地整備の基礎的研究 (II) -, 農土論集, 47, p.1-8.
- 19) 長堀金造・天谷孝夫 (1973b): 浸透水のノリ面浸出によるケイハン崩壊とその対策について-傾斜地水田における農地整備の基礎的研究 (III) -, 農土論集, 48, p.1-6.
- 20) 永石義隆・井上久義 (1985): 傾斜地水田の圃場整備における湧水処理の一事例, 農土誌, 53(2), p.101-106.
- 21) 根本清一・小倉 力・岡 晃 (1983): 傾斜地水田ほ場整備に関する研究-礫含量及び切盛の差が田植機の作業精度に及ぼす影響-, 日本土壤肥料学会講演要旨集第29集, p.111.
- 22) 日本農業新聞 (2007.6.19): 荒れる農地/託せる人がいない, 創刊80周年記念キャンペーン「田園立国」: <http://www.nougyou-shimbun.ne.jp/modules/tinyd/index.php?id=75>
- 23) 農業土木学会中国四国支部 (1990): 中国四国の農業土木-支部創立40周年を迎えて, p.50.
- 24) 農地整備モデルホ場企画委員会傾斜地水田部会 (1972): 傾斜地水田のホ場整備についての報告, 農土誌, 40(6), p.373-406.
- 25) 農林省構造改善局 (1977): 土地改良事業計画設計基準計画農地開発 (開畑), p.70.
- 26) 農林水産省構造改善局農政部農政課 (1991): 耕作放棄地に関する調査結果, p.8.
- 27) 小倉 力・根本清一・岡 晃 (1983): 傾斜地水田圃場整備に関する研究 (5) -整備後の水稻欠株及び倒伏と土層状態について-, 第38回農業土木学会中国四国支部講演会講演要旨, p.135-137.
- 28) 小倉 力 (1988): 中山間地高齢化農村における棚田の廃過程と圃場条件について, 高齢化農村における農業生産の条件と社会意識, 中国農試農業経営研究資料第98号, p.15-25.
- 29) 小倉 力・古谷 保・中尾誠司 (1989): 水田基盤条件とかがい廃過程, 高齢化農村における地域農業の再構成, 中国農業試験場, 場内共同研究報告書, p.37-44.
- 30) 小倉 力 (1990): 中山間農地の維持と圃場条件, 平成2年度農業土木学会大会講演会講演要旨, p.184-185.
- 31) 小倉 力・根本清一・余田康郎・古谷 保・中尾誠司・加藤盛夫 (1992): 開発農用地法面緑化工における追加施肥の効果, 農土誌 60(5), pp.417-422.
- 32) 小倉 力 (1993): 中山間地における農地荒廃, 高須俊行編, 農地・農村の整備, p.87-98.
- 33) 小倉 力・塩野隆弘・上村健一郎 (1999): 急傾斜農地の土地利用と簡易農地保全構造物の配置事例, 平成11年度農業土木学会大会講演会講演要旨, p.392-393.
- 34) 小倉 力・奥島修二・塩野隆弘・福本昌人・上村健一郎 (2000): 急傾斜農地における農道整備が農地利用におよぼした影響, 平成12年度農業土木学会大会講演会講演要旨, p.550-551.
- 35) 小倉 力・古谷 保・根本清一・余田康郎 (2000): 開発農地法面への木本の侵入に対する肥料袋設置の影響, 農土論集, 68(2), p.143-148.
- 36) 小倉 力・ソムサク スクチャン (2001): 東北タイノンスェン村におけるため池の配置と機能, 平成13年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, p.644-645.
- 37) 小倉 力・鈴木研二・ソムサク スクチャン (2005): 東北タイ天水地域一次流域における表流水の動向と水田利用, 平成17年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, p.976-977.
- 38) 小倉 力・根本清一・古谷 保・長利 洋・塩野隆弘・成岡 市 (2006): 傾斜地水田圃場整備後における農地基盤の経年的変化, 土壌の物理性, 103, p.13-22.
- 39) 小倉 力・若杉晃介・藤森新作・ソムサク スクチャン (2007): 東北タイ砂質土壌地帯における浅層地下水集水装置の試作, 平成19年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, p.358-359.
- 40) Ogura C., S. Sukchan, Suzuki K., J. S. Caldwell (2005): Paddy use and status of water resources in a first order watershed in a sandy soil area of Northeast Thailand, *First International Symposium on the Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture*.
- 41) C. Ogura, S. Sukchan (2007): The Result of Observation of Precipitation in Nong Saeng Village, Khon Kaen province, Northeast Thailand, *Japan Agricultural Research Quarterly*, p.325-332.
- 42) T. Ohsawa, H. Ueda, T. Hayashi, A. Watanabe, Jun Matsumoto (2001): Diurnal Variations of Convective Activity and Rainfall on Tropical Asia, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 79, p.333-352.
- 43) 岡 晃・根本清一・小倉 力・平井重男 (1982): マサ土造成畑の土壌物理性について-広島県大橋地区の事例-, 第37回農業土木学会中国四国支部講演会講演要旨, p.49-51.
- 44) 岡 三徳 (1996): 東北タイの自然環境-植生-, 地球環境保全農業技術協力マニュアル アジアの農地劣化地域における持続的作物生産技術-東北タイの塩害地, 全国農業改良普及協会, p.31-35.
- 45) H. N. Phien, A. Arbhahirama, A. Sunchindah (1980): Distribution of Monthly Rainfall in Northeast Thailand, *Southeast Asian Studies*, 18, p.110-122.
- 46) 坂口慶治 (1974): 丹波高原東部における廃村化と耕地荒

- 廢の過程, 地理学評論 47(1), p.21-40.
- 47) 塩谷哲夫・根本清一・小倉 力・福岡忠彦 (1983): マサ土造成圃場の作物生産能力と土壤改良-福山市大橋地区の事例-, 近畿中国農業研究 66号, p.42-47.
- 48) 須藤良太郎・小出 剛・坂本 貞・阿久津 弘 (1980): 農用地の開発・整備設計施工, 山海堂.
- 49) 杉原 昇 (1988): 中山間地域の農業基盤整備と地域活性化に及ぼす影響について, 第18回支部研修会テキスト「中山間地域の活性化をめざして」, 農業土木学会中国四国支部, p.39-58.
- 50) 杉本正一 (1994): フランキア資材を用いた植生シートによる木本植物の導入, 日緑工, 20(2), pp.123-125.
- 51) 竹中 肇・安富六郎・堤 聡・足立忠司・吉田裕一・長堀金造・佐藤晃一・丸山利輔 (1974): 施工機械の運行より見た農地基盤の特徴-傾斜地水田における農地整備の基礎的研究(V)-, 農土論集: 50, p.1-8.
- 52) 寺崎義男・前堀幸彦 (1976): 講座 緑化工 5 保護・管理工, 土と基礎, 24(2), p.79-83.
- 53) 土屋晴夫 (1996): 東北タイにおける農業の現状, 全国農業改良普及協会, p.3.
- 54) 橋本恵次 (1985a): 中国山地諸県における人口の動向, 山村集落における過疎化機構の分析, 中国農経資料第86号, p.13-21.
- 55) 橋本恵次 (1985b): 山村過疎集落の実態, 山村集落における過疎化機構の分析, 中国農経資料第86号, p.22-45.
- 56) 林 静夫 (1991): タイの気候および利水環境, 天水委員会現地調査報告書タイ国, 農用地整備公団, p.19-34.
- 57) Hayashi Y. and N. Vorasoot (1989): Spacial Distribution of Actual Evapotranspiration Rate in Northeast Thailand during the Dry Season, *JARQ*, 22, p.260-267.
- 58) 広島県尾道農林水産部広島中部台地総合開発事業所他 (1982): 広島中部台地の新しい農業経営のあり方を求めて(事業概要説明書).
- 59) 星子 隆 (1996): 土工と緑化の新しい課題, 土と基礎, 44(6), p.1-4.
- 60) 星子 隆・亀山 章 (1997): 高速道路のり面における木本植物の侵入とアカマツの成長, 日緑工, 22(3), pp.155-162.
- 61) 丸山利輔・長堀金造・竹中 肇 (1973): ケイハン崩壊の実態と原因-傾斜地水田における農地整備の基礎的研究(1)-, 農土論集, 46, p.14-21.
- 62) Meteorological Department (2003): *Climatological data of Thailand for 30-year period (1971-2000)*, p.26.
- 63) 宮下修一 (1998): 高速道路における環境保全と緑化, 土木施工, 39(2), p.27-31.
- 64) 和田秀徳 (1997): 東北タイの土壤侵食の実態と防止対策, 地球環境保全農業技術協力マニュアル アジアの農地劣化地域における持続的作物生産技術 土壤侵食防止技術対策, 全国農業改良普及協会, p.95-115.
- 65) 山田常雄・前川文夫・江上不二夫・八杉竜一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆 (1983): 岩波生物学辞典第3版, 岩波書店, p.1225.
- 66) 安富六郎・堤 聡・竹中 肇・長堀金造・佐藤晃一・丸山利輔 (1974): 田面沈下について-傾斜地水田における農地整備の基礎的研究(VI)-, 農土論集, 51, p.1-8.
- 67) 吉田 寛・保坂一彦 (1992): 薄層基材吹付工による複合群落の造成, 日緑工, 17(3), pp.175-181.

Study on agricultural infrastructure improvement in disadvantaged areas

OGURA Chikara

Summary

This study has been conducted to clarify the problems in farmland consolidation technologies relevant to land and water resources, and consolidation of land improvement and consolidation project, and advancement of technology in order to attain sustainable agricultural products in the fields regarded as disadvantaged area in the country and overseas.

The study clarified that the soil physical property of the sloping paddy field showed irregular state of paddy soil immediately after land consolidation work and posed importance of foundation works on the farm land consolidation from a long-term investigation.

Moreover, the study developed the method of additional fertilizing as an improved method of seed spraying which was widely used as replanting method on the slope in the farmland development. This technology admitted the effect in invasion of woody plants and transition to native plants which is original purpose of reclaiming method and also enabled to develop simple method of maintenance technology suited sloping reclaimed farmland.

In addition, it clarified that land consolidation is effective for farm land conservation in the investigation of maintenance condition of farmland in hilly area from availability of each lot.

The study for current characteristics of precipitation in rain-fed cultivation area and of rain-fed paddy fields in Northeast Thailand revealed majority of annual precipitation is recorded during 15LT to next 9LT and frequency of 10-minute precipitation occurrence recorded two peaks around midnight and early morning. Moreover, it is clarified that in upper paddy fields has not enough ponding function which is regarded as basic function for paddy field.

Keywords: hilly and mountainous area, farmland consolidation, farmland reclamation, replanting method, abandonment of cultivation, northeast Thailand, precipitation