

復田コストに基づく耕作放棄田の維持管理方式

I. はじめに

1. 調査の目的

本研究では中山間地の耕作放棄田の実態調査を通じ、農地資源を低コストで維持・保全するための手法開発を目的とした。今日、我が国の農地資源の減少は急激に進行しているが、減少の原因は都市化による転用と耕作放棄・林地化による耕境の後退である。とりわけ、近年では荒廃農地は急激に増加する傾向があるが、これが将来の日本の食料自給基礎を危うくすると考えられる。なぜなら、農地の供給には費用がかかるほか、技術的な制限性によって農地は短期に大量供給はできず、しかも、わが国には新たな開発余地はほとんど残されていない（有田：1999）。そこで、農地の荒廃化を防止し、現存の資源を保全する技術を確立することは今日のわが国にとって焦眉の課題である。

農地の荒廃化は耕作放棄から始まる。このため、耕作放棄田の管理のあり方が農地保全において重要な課題となる。すなわち、耕作放棄を放置すると農地に回復する費用（復田コスト）は徐々に増大し、長期の内には開墾費用に近づくほか、工事期間も長くなる。しかし、比較的早い機会に耕起・除草等の適切な作業を継起的に行えば、少ない労力で維持できるほか、緊急時の農地供給が可能となる。しかし、どの段階で如何なる維持管理対策を講じれば、最も効率的、経済的であるかについての知見はほとんどないため、具体的提案には繋がっていない。

そこで、農地の維持管理におけるコスト比較において、復田コストの概念を導入した。これは有田ら（2003）が提案した方法であるが、復田コストをもとに一定期間の維持管理におけるトータルコストを比較することによって、維持管理方法の適性度の判定が可能となる。いくつかの維持管理方式の内、トータルコストの最も小さいものが、最も経済的に見て合理的である。

有田らの検討（2003）は、草本の侵入した乾田についてのみ行われた。このため、湿田および木本の侵入した耕作放棄田については検討が行われていない。本研究では木本が侵入した圃場における復田コストの検討を行う。

2. 調査の方法

草本における復田調査（有田ほか：2002）では復田経験が豊富な小山章喜氏（大島村在住）の工費診断を基礎として、復田コストを推定したが、木本侵入圃場の調査においてもこれと同様の調査方法とする。これは、従前の調査との連続性を確保するうえで必要であるだけでなく、これ以外の適切な方法が今のところ見つからないためである。

しかし、木本が侵入した耕作放棄地の調査においては、草本のみの耕作放棄地とは異なる対応が必要である。すなわち、木本の復田コストは、草本だけの場合とは異なり、耕作放棄地の目測による観測だけでは把握できないのである。耕作放棄田では木本は草本と混生しているため、草本の背丈が高い場合には草本に遮られて姿を確認できず、実態と異なった評価になってしまう可能性が高い。そこで、木本の侵入実態は、個別の耕作放棄田の内部に分け入り、悉皆調査を行う必要がある。

一方、木本が侵入した圃場の復田作業・時間の推定は個別性が強いいため、推定には長時

間は必要である上、判定の誤差が草本のみの圃場より大きくなる虞がある。そこで、①いくつかの圃場について木本の侵入データを勘案しながら小山氏の復田時間推定作業を行うと共に、②木本排除のための作業時間を標準化して木本の侵入実態把握を通して推定する方法を併用する方法を採用することとした。

3. 調査地域

調査地として、新潟県東頸城郡大島村（図1）を選定した。大島村が立地する東頸城丘陵一帯の地質は第三紀泥岩層からなり、急傾斜地すべり地帯として知られる。また、全国有数の豪雪地帯であり、積雪は平年で250cm、多い年には350cmに達する。大島村をはじめとする東頸城地域では、多量の積雪がもたらす融雪水や湧水を利用して比較的標高の高い急傾斜地にも水田が拓かれてきた。そのため、調査地区の水田の多くは傾斜1/20以上の急傾斜地上に分散し、小区画・未整備である。

大島村を含む新潟県上越頸城地域は上越市を中心とする広域圏を形成するが、平野部は大規模な水田が広がる稲作経営型の地域である。これらの地域における耕作放棄率の変化を詳細に追跡した斎藤(2004)の調査（図2、図3）によると、地区の東側の丘陵・山岳地域に位置する安塚町、浦河原村、大島村、牧村では1980年代から耕作放棄の傾向は強かったが、こうした傾向は強まりながら、年を追って拡大している。こうした傾向を端的に示すのが、平坦地に位置する上越市、頸城村、三和村等であり、1980年代にはほとんど耕作放棄は見られなかったが、近年では徐々に広がりを見せている。図3において、大島村は右端に南北に長く横たわっているが、早い時期から全村に亘って高い比率で耕作放棄が進んできており、近年ではその深刻度を強めていることが分かる。

調査対象とした圃場は、大島村の標高350～450mの範囲に拓かれたものである。



図1 大島村の位置

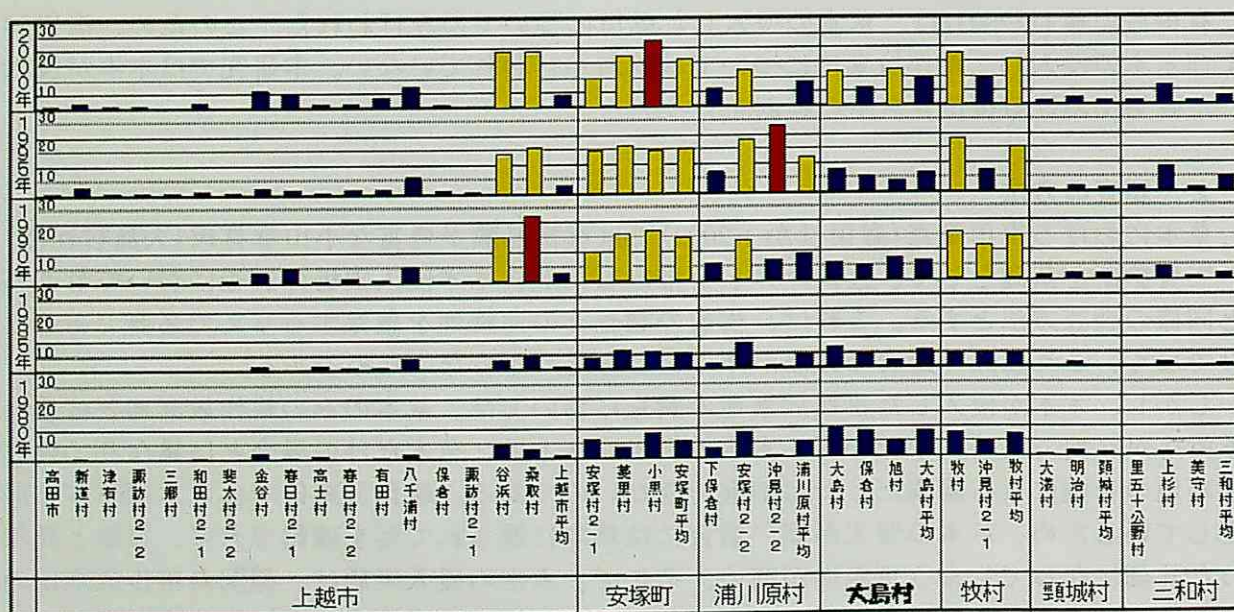
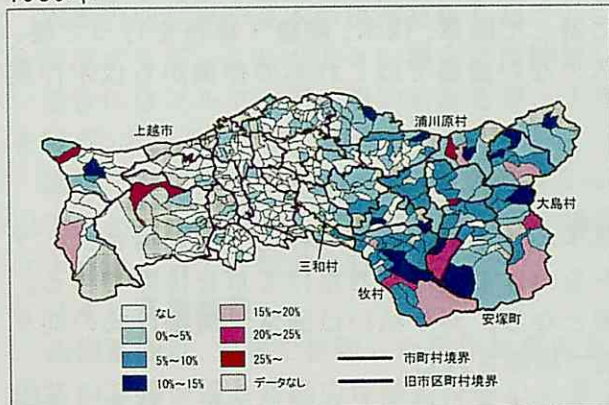
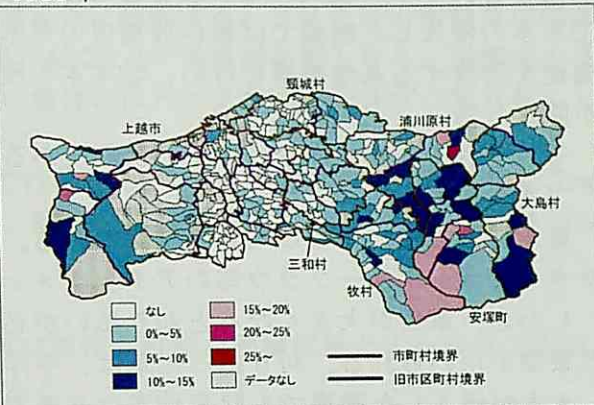


図2 上越頸城地域を旧村別にみた耕作放棄率の変化（斎藤 2004）

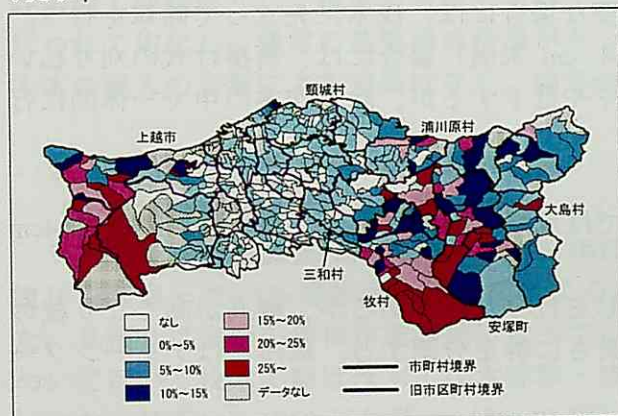
1980年



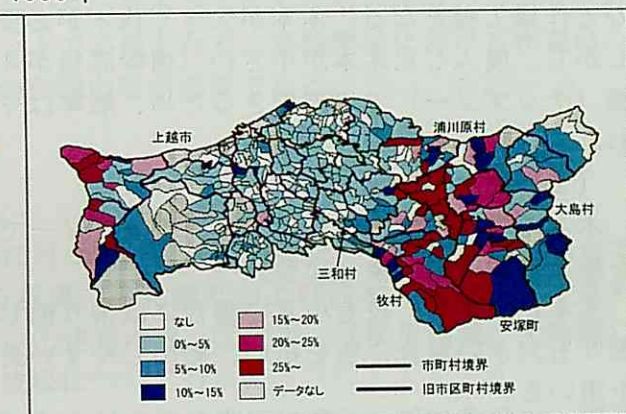
1985年



1990年



1995年



2000年

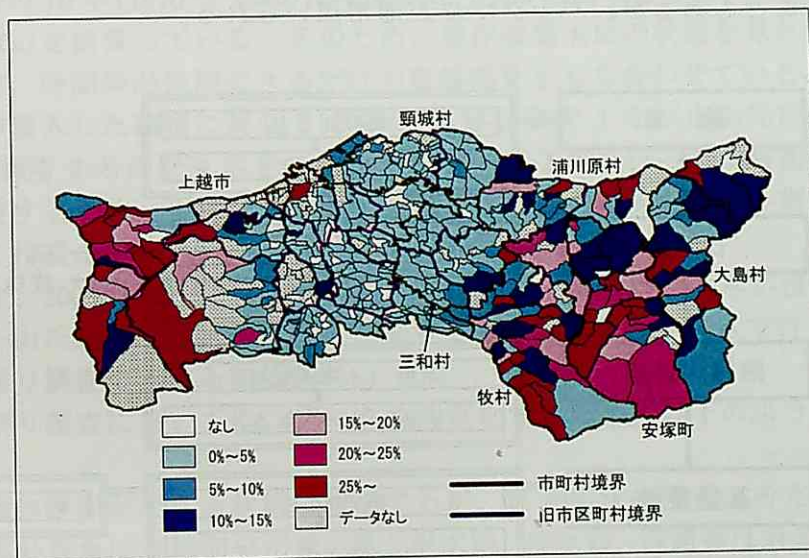


図3 上越頸城地域における耕作放棄率の空間変化 (斎藤 2004)

II. 復田の作業構成と手順

1. 復田の手順と作業内容

復田とは、耕作放棄田を再び耕作可能な水田の状態に復帰させることをいう。復田コストとは、これに必要な維持管理あるいは工事の費用である。

耕作放棄田の復田は、大島村の事例では概ね図4の手順で行なわれるが、木本が侵入し

た場合と、木本の侵入のない場合とでは異なるが、基本的な構成は共通する。すなわち、①木本の侵入した圃場では耕作放棄田の草本に対して除草、伐木、除根・排根を行った後、農地を形成する基盤整備を行い、②木本の侵入のない圃場ではこれらの作業から伐木作業が除かれる。

それぞれの作業の内容は以下のようである。

(1) 除草

草本の刈り払いおよび刈草の排除である。草本が一年草で繁茂の程度も低い場合、トラクターにロータリーブラウ等のアタッチメントをつけて攪拌するだけで草を排除できる。

しかし、草丈が大きくなると刈り払いが必要となる。刈り払いは通常、肩掛け式の刈りは来期が用いられる。刈り払った草は、手作業で排除される。

木本が侵入した圃場でも除草作業は必要である。木本が侵入した圃場では、草本と木本が混在するのが一般的で、木本だけが密生することは希である。除草と伐木は、通常、異なる作業工程となる。木本が大きく伐木が必要な場合には、伐木に先立って除草を行う。しかし、侵入した木本が小さい（樹幹直径が4 cm 未満）場合には、肩掛け式の刈り払い機（チップソー）で処理できるため、能率はやや低下するが、除草作業の中で一体的に行われる。

(2) 伐木

木本の伐採・搬出作業である。チップソーでは裁断が困難化する、根本の幹直径が4cmを超えた木本が対象となる。

木本が小さく、枝も小さい場合には借り倒しを行うだけであるが、樹高が高くなり枝の張りも大きい場合、枝を払い、搬出しやすい長さに幹を分割する。裁断にはチェーンソーを用いる。

伐木の搬出には、幹の直径が比較的小さい場合や伐木量が少ない場合にはブルドーザーで押し出すこともあるが、バックホウが通常用いられる。

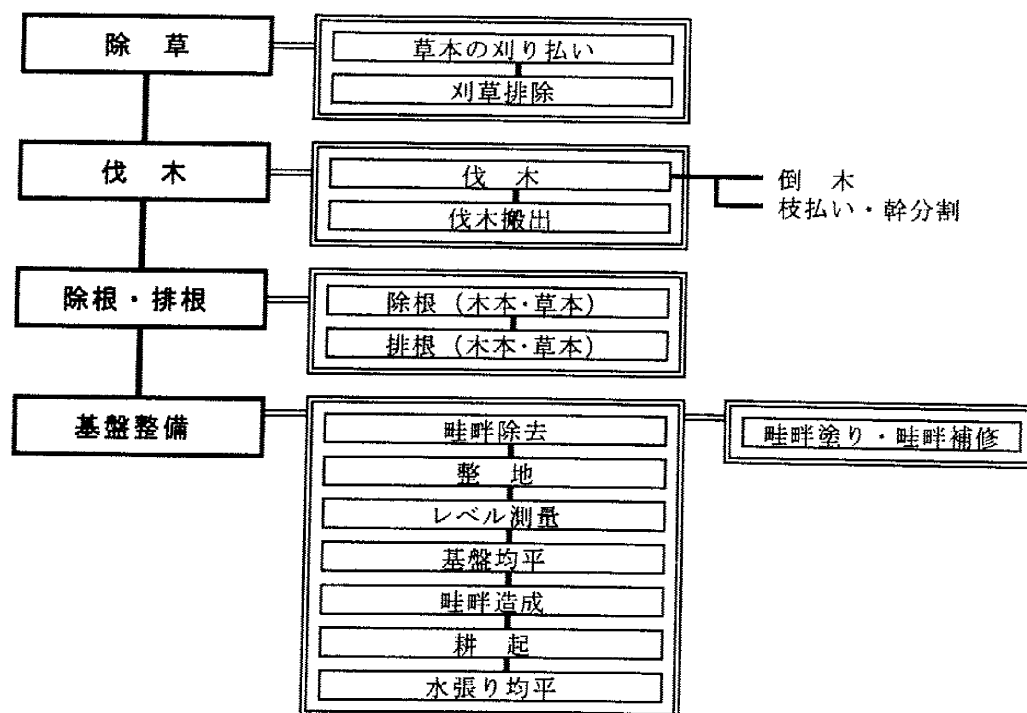


図4 木本が侵入した圃場の復田作業フロー

（３）除根・排根

木本の切り株や草本の根株を掘り起こし、圃場外に排除する。ススキ等の宿根草は根塊を形成するが、これが大きい場合には除根（掘り起こし）・排根が必要となる。根株が小さい場合にはブルドーザが用いられるが、大きい場合にはバックホウで一株ずつ掘り起こしを行う。

除根・排根は、通常異なる作業工程によって行われる。しかし、木本の切り株直径が 7cm 以下と小さかったり、草本の株が小さい場合、除根・排根作業はブルドーザあるいはバックホウによって一体的に行われる。

（４）基盤整備

基盤整備は、木本を排除した耕作放棄田を再び耕作が可能な圃場形態とする作業である。通常の基盤整備と同様の作業と手順が必要である。

耕作放棄後の期間が 1～2 年と短いため、草木が小さい場合には、耕起と畦畔の補修（畦畔修理・畦畔塗り）で復田が可能である。しかし、草木が大きくなると圃場の基盤もそれにつれて劣化し、通常の基盤形成作業がセットで必要となる。基盤整備における作業は、木本の侵入の有無による差異はなく、同等の作業内容が必要である。

２．復田経験者による作業内容の把握

（１）復田に必要な作業調査

サンプル圃場の調査は、2000～2003 年に行った。復田に必要な作業の把握は、地元で復田を請負っている建設業者小山氏による現場での見積りおよび伐木実験によって進めた。見積りは実際の復田作業手順に沿って、①作業内容、②労力、③使用機械、④時間について行い、伐木実験は伐木・伐木排除・抜根について行った。

なお、K 氏は、1960 年代後半（昭 40 頃）から村の圃場整備に携わっているほか、復田についてもピーク時の 10 年（1970～1980）は年間 200～300 区画をこなし、現在でも年間 8～10 区画（30～40a）を請負っている。そのため、耕作放棄水田の状態をみただけで、復田に必要な作業内容、時間等が推測できるだけの現場感覚をもち合わせている。

見積りは、草本が侵入した圃場に対して 2000 年に建設業者 1 名（小山氏氏あるいは T 氏）、農家 1 名、記録者 2 名の計 4 名を 1 組とするチーム 2 組で行った。最初の数筆は両チームの判断を調整するため、現場で重複して見積り、相互の差異を点検・調整した後、チーム毎に分かれて作業を進めた。

木本の伐木実験は、2003 年 10 月～11 月にかけて行った。実験は、木本が侵入した圃場で建設業者 1 名（小山氏氏）の伐木作業者と記録者 2 名の計 3 名のチームで行った。

（２）作業量見積り調査における前提条件

復田作業量の見積り調査においては、データを均質化するため、以下のような条件づけを行った。

①復田においては、耕作ができる状態に復旧するが、区画形状の変更は考えない。

②復田コストの推計対象は本地部分だけとし、用水路、排水口、道路等は対象外とする。

③サンプル圃場の規模・形状に差があるため、標準的な 10 a 区画（56 × 18 m）を想定し、圃場の長短辺の各 1 辺を畦畔として算定する。

④作業時間は、原則として作業機械 1 台、人力 1 人の場合を想定して見積る。

⑤復田コストを実態に近い形で把握するため、耕作放棄初期において、農家が自力で手持の農機を用いて復田できる場合はこれによるが、雑草株の増大等によって農家が自力で対応できない場合には、業者に依頼することとする。

3. 復田作業の組合せ

復田作業の必要度は、耕作放棄後の期間や植生・周辺環境からの影響等によって異なる。侵入した木本あるいは多年草の株の大きさ、基盤の損傷度などによって影響を受け、作業工程や作業の組み合わせの内容も変化する。復田作業は農地の荒廃化に応じて多様化するとともに、作業機械も重装備化するなど、作業機械の組み合わせと荒廃化の進度との間には固有の結びつきがある。このため、双方の結合形態をもとに、作業段階として類型化できる（友正ら：2000）。木本の侵入を考慮した場合、作業の組合せは、表1のように概ね 8 類型に区分できる。

作業形態は、草本のみの場合と木本が侵入した場合では異なるが、木本侵入の初期段階では草本のみの侵入圃場と差異はない。差異が生じるのは、木本の幹直径（地上 20cm 程度）が 4cm を超えた段階以降である。

類型 G I：耕作放棄後の経過時間が短く、農地に一年性雑草しか侵入していない状態では、20～30cm 程度と草丈が小さく、地上部のバイオマス量も少ないため、農家の保有トラクタによる耕起をただけで除草ができ、農家の自力復田が可能な段階である。畦畔もほとんど劣化していないため必要に応じて畦畔の補修を行う。

類型 G II：多年草が侵入し始め、草丈が 30～60cm 程度に大きくなり、草の量も多くなったため、小型のロータリープラウによる直接耕起ができず、耕起に先立って刈り払いが必要となる。この段階でも畦畔の劣化は僅かであるため、必要に応じて補修を行う。この段階まで、農家の自力対応が可能である。

類型 G III：さらに草丈が大きくなり、ロータリープラウによる刈り草のすき込み可能量を超える段階であり、刈払い後に刈り草の集積が必要である。大面積の場合はブルドーザでの集積となる。これ以降は、地上部バイオマス量の増加や根株の発達によって、ブルドーザ等の強力機械でないと対応できないため、業者に委託することになる。

類型 G IV：植生遷移が進み、地上部だけでなく、地下部土中のバイオマス量も多い段階であり、これを取り除く作業工程が加わる。ここでは、ブルドーザで根系の発達した地表部を 10cm 程度剥ぎ取り、圃場外に押し出す。このとき畦畔も同時に撤去し、後にブルドーザで復元・造成する。

表1 復田作業の組合せ類型

耕作放棄田の植生	作業類型	作業の組み合わせ内容
草本のみ	G I	耕起＋畦畔補修
	G II	草本刈り払い＋耕起＋畦畔補修
	G III	草本刈り払い＋刈草集積＋耕起＋畦畔補修
	G IV	草本刈り払い＋基盤整備
	G V	草本刈り払い＋除根＋基盤整備
	G VI	草本刈り払い＋除根＋根の集積＋基盤整備
木本侵入	W I	[伐木＋集積]＋[草本刈り払い＋除根・排根]＋[基盤整備]
	W II	[伐木＋伐木搬出＋集積]＋[草本刈り払い＋除根・排根]＋[基盤整備]
	W III	[伐木＋伐木搬出＋抜根＋集積]＋[草本刈り払い＋除根・排根]＋[基盤整備]

（*）木本が侵入した耕作放棄田の多くは草本と混生するため、草本の刈り払いが必要である。本表では、木本と草本の作業を明示することに主眼を置いたが、実際の作業は図 13 のように一体的に行われる。

類型 G V：放棄の長期化によって圃場面に不陸が生じたり、地下部バイオマス量が更に大きくなる段階であり、部分的に深くまで除根する必要が生じる。ここでは、基盤均平が必要となるため、ロータリープラウを装着したトラクタ（75PS）で荒整地後、レベル測量、ブルドーザによる均平作業後に基盤整備を行う。

類型 G VI：草本の株が最大限（ススキでは直径 60～80cm 程度）にまで達すると、根株の量も増えるため、小型ブルドーザでは除根できない段階であり、バックホウによる除根した根株の集積・排除が必要がある。根株の集積・排除後に基盤整備を行う。

類型 W I：木本が小さい場合、伐木し集積するが、排除は草本の排根作業と一体的に行う。その後、基盤整備を行う。

類型 W II：木本の幹直径・樹高が大きくなると、伐木を草本の除根・排根に先立って搬出を行う。しかし、根株の排除は、草本の除根・排根と一体的に行い、その後基盤整備を行う。

類型 W III：木本の幹直径・樹高が大きい圃場では、伐木後、伐木の裁断・集積・搬出を行い、切り株を掘り起こし、排除する。その後、草本の根株を除根・排根し、基盤整備を行う。

サンプル圃場の植生ステージ毎のサンプル数と作業類型を対応させると（表 4），相互に密接な関連が認められる。このことは、復田コストと植生ステージ（あるいは放棄年数）との相関を示唆している。

Ⅲ．木本侵入圃場の実態調査

1．調査の内容

（1）耕作放棄田の選定

新潟県大島村において、平成 15 年 4 月から 6 月にかけて、木本が侵入した耕作放棄田を現地で探査し、木本の植生特性が異なる 43 圃場を選定した。選定においては、復田の基礎的試験として行う伐木等の際の重機の侵入も考慮して、道路から近く、比較的侵入が容易なものを優先した。

（2）耕作放棄後年数の推定

選定した圃場について、空中写真の判読及び土地所有者へのアンケート調査によって耕作放棄年数を推定した。空中写真は、1964 年以降に撮影されたもの（1967、1969、1974、1975、1984、1985、1988、1989、1991、1992、1994、1995、1999）から判読した。アンケート調査では、役場での聞き取り調査等をもとに農地所有者を推定し、当該耕作放棄田の管理の履歴をメール調査によって把握した。

空中写真は全期間に亘って均等に撮影されていたわけではないため、アンケートによってこれを補った。しかし、アンケートによって捕捉できた農地の管理履歴は数件にとどまった。耕作放棄後長年月の経過しているものが多いため、代替わりによって現在の農家が把握していなかったり、離村によって所有者の住所が不明である等の障害があったためである。このため、多くの圃場は写真判読を基礎として耕作放棄年数を推定せざるを得なかった。推定は、耕作放棄の始まる前後の空中写真を比較することによって行った。

（3）耕作放棄田の植生調査

耕作放棄田の植生調査を 2003（平成 15）年 7 月から 9 月にかけて実施した。

各圃場の植生調査では、1 m 四方のコドラートを圃場毎に必要な応じて 2～3 設定した。

また、侵入木本の調査を別途に行った。調査対象とした木本は、樹高 1m 以上のものであり、①木本の種類、②樹高、③幹の周囲長（地面から 20cm）、④本数等について把握した。

2. 耕作放棄田の特徴

（1）乾性圃場と湿性圃場

耕作放棄田の水分環境については、乾性・湿性の区分を原則としたが、現場の観察に基づいて、①乾性、②半乾性、③湿性、④強湿性に 4 区分した（表2）。それぞれの類型の特徴は表 1 に示すとおりである。得られたサンプルは、乾性圃場 27、湿性圃場 17 であり、乾性圃場が湿性圃場を上回った。木本の侵入が認められた圃場は、湿性圃場に比べて乾性圃場で多かったことがこうした結果と対応しているものと思われる。

（2）耕作放棄後年数

サンプル圃場の選定に当たっては多様な木本の侵入形態に配慮した。サンプル圃場の選定後に、空中写真の判読、土地所有者へのアンケート等をもとに、耕作放棄田の放棄後年数を推定した。この結果、放棄後年数は 4 年～ 28 年に及んだ（図5、資料・1）。放棄後年数 9 年～ 20 年の範囲で乾性・湿性共にサンプル数は多く得られた。

表2 耕作放棄圃場の乾湿区分

圃場の乾湿		圃場数	圃場の特徴
乾	乾	19	圃場面が常に乾いた状態で、ほとんど湿り気を感じない圃場
	半乾	8	圃場面は乾いてはいるが、土壌がやや湿気を帯びている圃場
湿	湿	9	圃場面に手を当てると、水分の付着が認められる圃場
	強湿	7	表面に湛水が認められる、あるいは侵入すると侵出水が認められる圃場

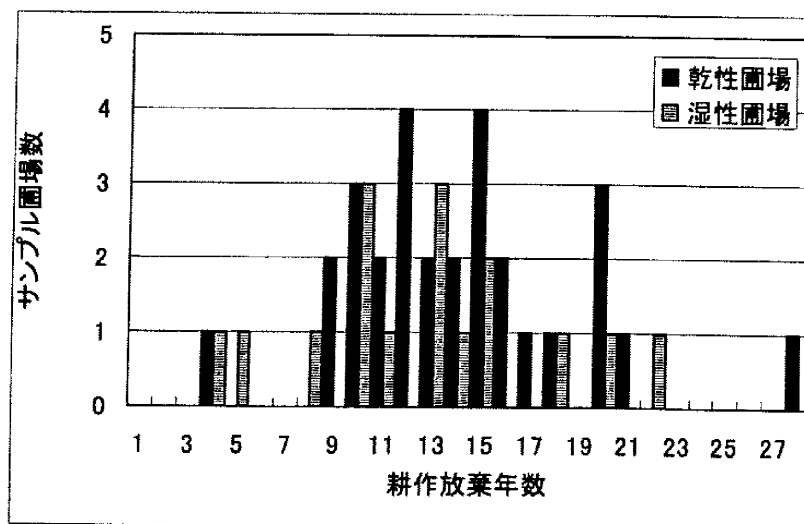


図5 サンプル圃場の耕作放棄後年数の分布

[資料・1] 耕作放棄田の概要

圃場 番号	圃場の水分環境 (乾・湿)	耕作放棄 期間(年)	樹 種	最大樹高 (m)	草本の植 被率(%)
1	乾	12	1	3.5	0
2	半乾	9	6	4.5	5
3	乾	20	5	5.0	85
4	半乾(一部湿)	17	6	4.0	90
5	強湿	18	4	2.7	98
6	強湿	13	2	3.0	95
7	乾	14	8	4.0	80
8	強湿	5	3	3.0	100
9	半乾	16	3	3.5	20
10	乾	20	2	7.0	98
11	乾(一部半乾)	12	3	5.0	95
12	湿(一部半乾)	11	3	3.0	65
13	湿	10	3	12.0	70
14	半乾(一部湿)	13	5	8.0	95
15	乾(一部半乾)	14	2	3.5	99
16	湿	15	2	5.0	98
17	乾(一部半乾)	10	2	10.0	70
18	乾(一部半乾)	10	8	7.0	90
19	乾	4	5	7.0	100
21	強湿	4	3	1.8	100
22	強湿	10	2	2.0	99
23	湿(一部半乾)	8	2	2.5	100
24	半乾	11	2	1.7	85
25	強湿	20	2	6.0	95
28	乾	21	3	4.0	99
29	半乾	18	2	3.5	95
30	乾	13	2	4.0	95
31	湿(一部強湿)	22	5	4.0	95
32	半乾	12	5	8.0	57
34	乾(一部半湿)	10	4	2.0	100
35	乾	14	2	5.0	95
36	乾	20	4	4.0	98
37	半乾(一部湿)	9	3	3.0	90
38	湿(一部半乾)	14	6	2.1	99
39	湿(一部半乾)	15	5	7.0	90
40	湿(一部強湿)	13	5	6.0	97
41	強湿	13	3	3.5	99
ex.5	乾	14	6	5.0	95
旧 05	乾(一部半乾)	12	3	5.0	92
旧 18	乾(一部半乾)	16	3	3.1	97
旧 37	乾	10	2	6.0	80
旧 38	湿	28	4	3.0	98
旧 42	乾	11	5	3.5	95

3. 侵入樹種

(1) 侵入樹種の出現頻度

侵入した木本の樹種・植生密度・樹高等の構成は、圃場間で大きく異なった。

耕作放棄田で確認された樹種は表3のようで、20 種以上の木本が確認できた。木本の大半はヤナギ、ハン、タニウツギ等の攪乱依存型の先駆性樹種である。出現頻度の高い樹種は数種に限られ、他の樹種は圃場によって出現頻度は異なった。

注) 先駆性樹種：遷移初期に群落をつくる樹種。陽樹で初期成長の速いものが多く、ヤナギ類・ハンノキ類・カンバ類などが代表的である。

個別圃場の侵入樹種数は、多いものでは6～8種を確認した圃場もあるが、半数以上(58%)の圃場では3種以下であり、平均値も3.6種/圃場と少ない(図6)。植生密度は圃場間で差異があり、雑草の間に点的に数種の本木が侵入している事例が一般的だが(写真3)、ヤナギやタニウツギが一面に高密度で繁茂し、他の本木の侵入を疎外している事例も見られた(写真4)。

表3 耕作放棄田に侵入した樹木と出現頻度

樹 木	学 名	出 現 圃場数	備 考
オノエヤナギ	<i>Salix sachalinensis</i>	17	落葉小喬木
シロヤナギ	<i>Salix jessoensis</i>	11	落葉小高木－高木、やや乾所
アカメヤナギ	<i>Salix Grandulosa Seemen</i>	11	落葉喬木
イヌコリヤナギ	<i>Salix integra Thunb.</i>	10	落葉灌木
オオタチヤナギ	<i>Salix pierotti</i>	4	落葉高木
カワヤナギ	<i>Salix gilgiana</i>	2	落葉低木－小高木
ヤナギ(不明)	<i>Salix</i>	26	
ヤハズハンノキ	<i>Alnus Matsumurae Call</i>	10	落葉小喬木、10 m内外
ヤマハンノキ	<i>Alnus hirsuta var. sibirica</i>	2	落葉喬木、大なるは17 m
ヒメヤシヤブシ	<i>Alnus pendula</i>	1	落葉喬木
ハンノキ(不明)	<i>Alnus</i>	7	
タニウツギ	<i>Weigela hortensis</i>	22	落葉小高木
サワグルミ	<i>Pterocarya rhoifolia</i>	6	落葉高木
フジ	<i>Wisteria floribunda</i>	4	落葉籐本
ヤマグワ	<i>Morus australis</i>	3	落葉低木
ネム	<i>Albizia julibrissin</i>	3	落葉高木
タラノキ	<i>Aralia elata</i>	3	落葉低木
ヌルデ	<i>Rhus javanica var. roxburghii</i>	2	落葉小高木
ヤマボウシ	<i>Benthamidia japonica</i>	2	落葉高木
イタヤカエデ	<i>A. mono var. marmoratum f. dissectum</i>	1	落葉高木
ウリハダカエデ	<i>Acer rufinerve</i>	1	落葉小高木－高木
コナラ	<i>Quercus serrata</i>	1	落葉高木
イバラ	<i>Rosa</i>	1	落葉低木

*) サンプル圃場数 43

**) ヤナギ、ハンで不明としたのは、判別ができなかったもので上記樹種と重複するものが含まれる



写真1 木本侵入初期で草本と区別がつかない(03.05撮影)



写真2 木本侵入後の時間が経過したもので樹高が12 mに達する(03.05撮影)



写真3 複数種の木本と草本が共存 (0310)



写真4 タニウツギが高密度に繁茂 (03.10)

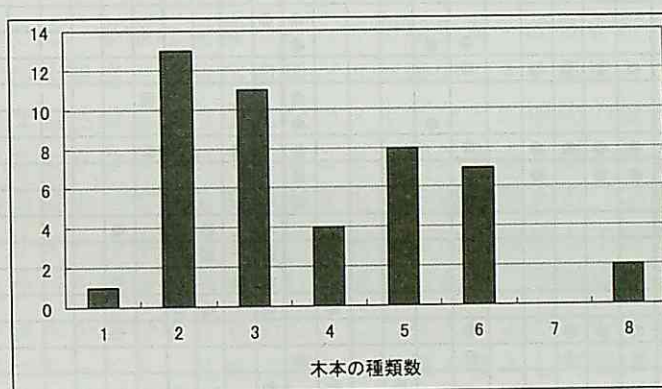


図6 侵入木本種類数の分布

(2) 圃場条件と樹木の侵入

1) 侵入樹種の数

湿性圃場と乾性圃場の各圃場における侵入樹種数を比較すると、乾性圃場では湿性圃場に比べて侵入樹種は僅かながら多い傾向が見られた(図7)。

圃場毎の樹種構成を乾性圃場と湿性圃場間で比較すると(表4、表5)、特徴的な差異が見られる。乾性圃場では、多様な樹種が侵入しており、ハン・ヤナギ・タニウツギ等、20種を超える多様な木本が確認された。また、樹種の組み合わせは多様で、圃場間にも差異が認められる。一方、湿性圃場では侵入樹種はハン・ヤナギの類が圧倒し、組み合わせも類似のものが多く、確認された樹種も11と少ない。ヤナギ・ハンノキ以外の樹種の

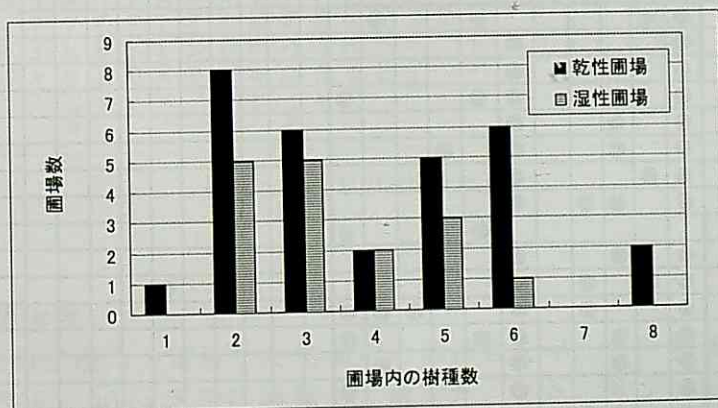


図7 耕作放棄田における進入木本種類数の分布

侵入（表4：右部）は、わずかの圃場で認められるに過ぎない。

乾性圃場は、湿性圃場に比べて、①樹種数および、②樹種の組み合わせの両面で多様性が高い点に特徴を見いだすことができる。

表4 乾性圃場への侵入樹種

圃場番号	オノエヤナギ	アカメヤナギ	シロヤナギ	イヌコリヤナギ	カワヤナギ	ヤナギ(不明)	ヤハズハンノキ	ヤマハンノキ	ヒメヤシロ	ハンノキ(不明)	タニウツギ	サワグルミ	フジ	ヤマダウ	ネム	タラノキ	ヌルデ	イタヤカエデ	ウリハダカエデ	カエデ	ヤマボウシ	ミズナラ	リョウブ	コナラ	イハラ	不明木
1																										
2																										
3																										
4																										
7																										
9																										
10																										
11																										
14																										
15																										
17																										
18																										
19																										
24																										
28																										
29																										
30																										
32																										
34																										
35																										
36																										
37																										
ex.5																										
IB05																										
IB18																										
IB37																										
IB42																										

注）各圃場で認められた樹種に●を付した。個体数とは関係ない。

表5 湿性圃場への侵入樹種

圃場番号	オノエヤナギ	アカメヤナギ	シロヤナギ	イヌコリヤナギ	カワヤナギ	ヤナギ(不明)	ヤハズハンノキ	ヤマハンノキ	ヒメヤシロ	ハンノキ(不明)	タニウツギ	サワグルミ	フジ	ヤマダウ	ネム	タラノキ	ヌルデ	イタヤカエデ	ウリハダカエデ	カエデ	ヤマボウシ	ミズナラ	リョウブ	コナラ	イハラ	不明木
5																										
6																										
8																										
12																										
13																										
16																										
21																										
22																										
23																										
25																										
31																										
38																										
39																										
40																										
41																										
IB38																										

注）各圃場で認められた樹種に●を付した。個体数とは関係ない。

2) 樹種別の出現比率

乾性圃場と湿性圃場の間で、樹種別の出現比率（：侵入が確認された圃場の比率）を比較したところ（図8）、ここでも以下のような特徴的傾向が見られた。

①乾性圃場では、特定樹種に偏ることなく、多様な樹種が各圃場に侵入している。出現比率が最も高いのはタニウツギで7割に近いが、これは例外的である。他の樹種では、出現率は多いものでも4割程度で、特定樹種に集中せず、分散的傾向が強い。

②湿性圃場ではヤナギ（不明：現地で詳細な樹種特定ができなかったもの）は、9割以上の圃場で出現しているほか、ヤナギ類が圧倒している。ヤナギ類を除いた樹種は少なく、出現頻度もタニウツギ・ハンノキを除いて極端に低い。乾地性圃場でも出現したタニウツギ・ハンノキ等は、湿性圃場内の比較的乾燥した部分で多く見られた。

③ハンノキ類は、湿性圃場・乾性圃場の双方で同様の出現傾向が見られた。出現頻度は必ずしも高くはないが、発芽初期の環境への適応力が他の樹種より高いことを示すものと考えられる。

これらは、乾性圃場では、多様な樹種にとって初期生育・成長を行う上で適合的な環境が形成されているが、湿性環境では特定樹種だけが適応できる環境となっていることを示している。また、通常は湿性環境には生えないヌルデなどの植物の侵入が見られたのは、耕作放棄田では、以下のような事態が生じることと関係すると思われる。①放棄後の初期段階とその後の時間経過によって水分環境が変化する場合がある。②放棄年数の経過と共に、雑草の株の形成やリターの体積等を通じて圃場面に小規模な不陸を生じるため、同じ圃場内でも小規模な異なった環境が形成される場合がある。③圃場周辺の比較的乾燥した部分から徐々に木本の侵入が進む場合もある、ことなどによるものと思われる。こうした部分では、湿地性圃場であっても、乾地に適した樹種の侵入も可能になると考えられる。当然、逆のケースも生じるだろう。

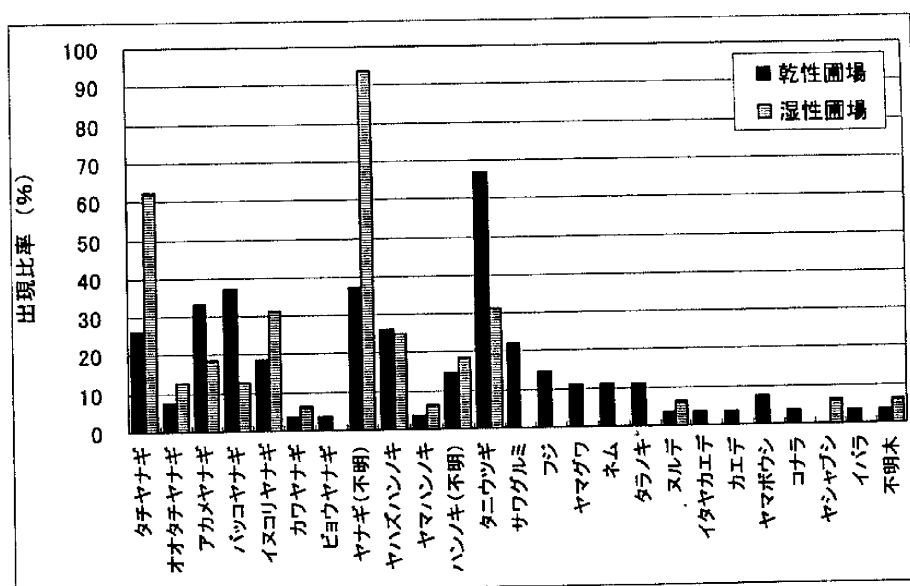


図8 樹種別の出現比率

3) 樹種別の個体数

表6に、耕作放棄田に侵入・定着した樹種別の個体数を示した。個体数は、サンプル圃場で確認された数値を、10 a 区画に換算して求めた。また、サンプル圃場数は、湿性圃場と乾性圃場で異なったが、両者を比較するため、同一の圃場数として換算した（湿性圃

場×27/16)。

ここで見られた特徴的傾向は、以下のようである。

①個体数は、乾性圃場が湿性圃場に比べて遙かに多い。10 a 区画換算圃場（：サンプル圃場を 10 a 区画として換算）の値を積み上げた個体数は、乾性圃場では 19,990 であるのに対して、湿性圃場では 2,038 にとどまり、両者の比率はほぼ 10：1 と大きな差異があった。耕作放棄後における樹木の発芽・生育・消滅は時間経過に伴って変化するため、放棄後の経過年数が異なる圃場間の比較は十分ではないが、両者の特性を大まかに捉えることができるだろう。

②ヤナギの個体数が、乾性圃場・湿性圃場共に最も多い。湿性圃場と乾性圃場の間では個体数には大きな差異があるが、共に個体数の面から見るとヤナギにとって好適な環境となっている。

③湿性圃場では侵入樹種はヤナギに特化して個体数は多いが、乾性圃場ではヤナギのほか、タニウツギ・ハンノキの個体数も多い。しかし、湿性圃場より多様である乾性圃場でも、優越する数種の本を除くと個体数は極めて少ない。周辺の森林等からの種子供給はこれより遙かに多様であるにもかかわらず、侵入樹種が限定されている点が、耕作放棄水田の植生の特徴とっていいだろう。

表6 耕作放棄田に侵入した樹種別個体数

樹 種	個体数 (10 a 換算値)	
	乾性圃場	湿性圃場
ヤナギ類	9024	2911
ハンノキ	5140	160
タニウツギ	5454	347
ヤマボウシ	104	0
ヤマグワ	103	0
タラノキ	61	0
フジ	35	0
ヌルデ	20	8
サワグルミ	15	0
ネムノキ	12	6
カエデ	5	0
イバラ	2	0
不明木	14	6

4. 樹高・体積

(1) 最大樹高

耕作放棄田における最大樹高の樹種（図9）をみると、乾性圃場・湿性圃場共にタチヤナギ、ヤナギ（分類不可）が最も多いという共通面も認められるが、両者の間には大きな差異が認められる。

乾性圃場では最大樹高の樹種も多様化傾向が強いが、湿性圃場では特定樹種への集中傾向が見られる。特徴的な傾向を示す樹種は、タニウツギおよびサワグルミで、乾性圃場では多いが、湿性圃場ではほとんど見られない。

耕作放棄年数と最大樹高の関係をみると（図10）、乾性圃場、湿性圃場を問わず、相関は弱い。木本の侵入にいたるプロセスが圃場によって大きく異なることが、こうした傾向をもたらした原因と思われる。圃場によって放棄直後から木本が侵入する場合もあれば、草本侵入が先行し、草本の株の後退によるギャップができるまで侵入できない場合もある。

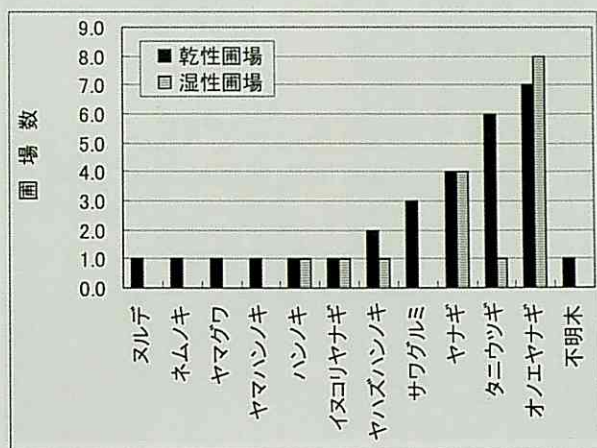


図9 最大高の樹種と出現圃場数

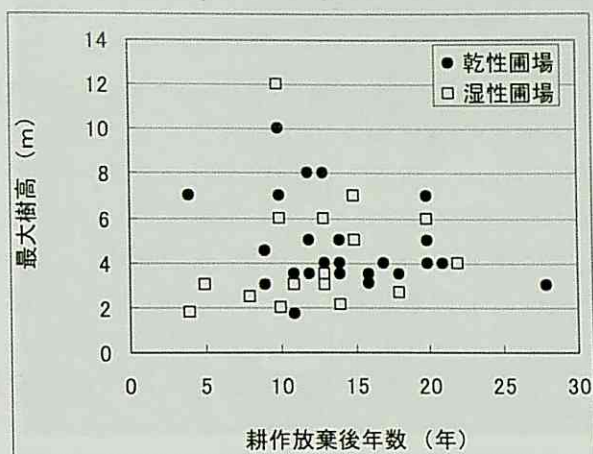


図10 放棄後年数と最大樹高

(2) 木本の体積

木本の体積についても耕作放棄年数との相関は見られない (図11)。これは、樹高との関係とも一致するが、圃場への侵入プロセスは極めて多様であるため、放棄後年数との相関は弱くなるものと思われる。

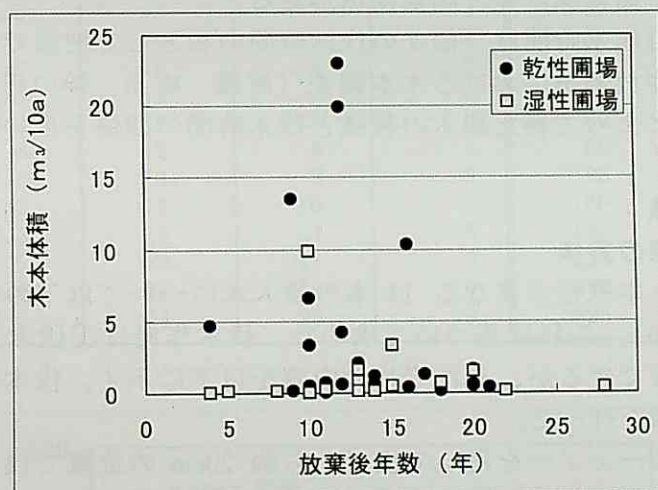


図11 放棄後年数と木本体積



写真5-1 木本が大型化した湿性圃場 (no.13)



写真5-2 木本が大型化した乾性圃場 (no.17)

Ⅲ. 木本の排除実験

1. 復田コストの推計方法と木本の排除実験

木本の排除実験を小山章喜氏の協力を得て 2003 年 10 月に行った。実験項目は、耕作放棄田の伐木－抜根－排根における作業時間の測定である。作業時間の測定においては、それぞれの項目について別途実施した。耕作放棄田の伐木実験では、土地所有者の同意を得るには困難が多い。所有者が村を離れており住所が不明であったり、代替わり後の相続者が農地の位置を正確に知っていないため確認できないなどの事例が多かったため、伐木の許可を得られない農地が多かったのである。このため、検証可能な事例データは限られたが、承諾を得られた圃場実験で推計に必要な基礎的データを得ることができた。

2. 伐木

(1) 伐木時間の推計方法

耕作放棄田の木本侵入は、圃場の耕作放棄時の環境条件に規定され、圃場によって大きく異なる。このため、耕作放棄後の経過年数が同じであっても、侵入木本の樹種、本数、樹高等が異なるのが一般的である。そこで、伐木に要する費用は木本の植生によって規定されるため、圃場毎に費用の発生形態も異なる。

こうした木本侵入田の伐木時間は、以下のような仮定のもとで推計することとした。

①伐木時間は、切り株直径と関数関係がある。

②耕作放棄田の伐木時間は、個々の伐木時間の和として把握できる

すなわち、耕作放棄田における木本調査（樹種、樹高、幹の周囲・直径、本数等）をもとに、伐木調査によって得た樹木の特徴と伐木時間の関係を用いて、圃場毎の伐木時間を推計する。

(2) 伐木試験

1) 伐木試験の方法

伐木時間は、木本直径が異なる 14 本の侵入木について以下のような作業形態で伐木試験を行い（写真 6）、これに基づいて求めた。伐木作業は①伐木と②枝払いおよび幹の裁断（玉切り）に区分できるが、それぞれの内容を以下に示す。伐木作業は小山氏が行い、筆者らは作業の記録を行った。

①伐木：チェーンソーを用いて根元から約 20cm の位置で伐木した。伐木に使用したチェーンソーは、使用実態に合わせ、幹の直径 10cm 未満では 30cm 型、10cm 以上では 35cm 型とした。木本の幹が細い場合には、伐木は一工程の作業でできるが、直径が 15cm を超えると三角形の受け口を切ったあとで追い口を切る 2 工程の作業となる。

②枝払いおよび幹の裁断（玉切り）：伐木後、樹高が高く、枝張りがある場合には、枝を払い、その後に幹を裁断する。幹の裁断は、樹高が 7m（切り株直径 30cm）程度である場合、根元から 90cm（3 尺）、120cm（4 尺）、150cm（5 尺）程度に徐々に長くしながら進める。幹の裁断長は、搬出時の作業の容易さを配慮したのもので、太い部分は相対的に短くなる。枝も長さが 3m を超えるものは 2 分割する。

なお、幹の直径（地上 20cm）が 4cm 未満程度の細い木本の伐木は、肩掛け式除草機（チップソー）で刈り払いができるため、除草作業の中で行うものとした。

2) 伐木試験の結果

伐木試験の結果を表 7 に示す。作業毎の時間は、ビデオテープの時間表示をもとに記録し、把握した。作業時間は、幹の太さ、樹高、枝の数等によって規定された。

樹木の根元直径と伐木時間の間には図 12 の関係が認められた。回帰曲線は、 $y = 7.9927e0.173x$ ($R^2 = 0.8377$) である。



写真6 伐木（受け口の形成：03.10撮影）



写真7 枝払い及び玉切り（03.10撮影）

表7 耕作放棄田の木本の伐採試験結果

樹種	樹高 (m)	切株直径 (cm)	枝 (本)	幹の断裁 (本)	伐木時間 (秒)	備考：チ ェンソー
タニウツギ	3.0	5.8	1	2	14	30cm型
ヤナギ	5.8	7	1	3	19	30cm型
ヤナギ	4.5	7	7	2	62	30cm型
ヤナギ	6.4	8	3	4	50	30cm型
ヤナギ	5.2	10	4	3	61	30cm型
ヤナギ	6.5	12	4	4	49	30cm型
ヤナギ	8.7	12	12	6	80	30cm型
ヤナギ	6.8	12	8	5	90	30cm型
ヤナギ	7.2	14	8	5	98	30cm型
ヤナギ	7.3	15	10	5	100	30cm型
ヤナギ	8.5	15	7	6	121	30cm型
ヤナギ	10.5	18	11	8	128	35cm型
ヤナギ	12.6	20	15	10	346	35cm型
ヤナギ	12.5	24	23	10	325	35cm型

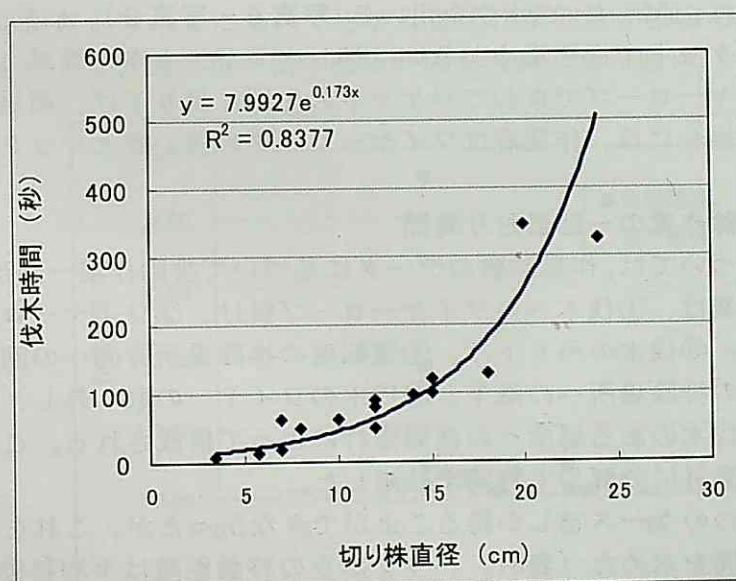


図12 切り株直径と伐木時間

(3) 伐木時間の推計式

10 a 当たり伐木時間 (T_i) は、以下によって求めることができる。

$$T_i = p_i(1 + t_{rl}) \sum t_r \quad \dots (2)$$

ただし、 t_r : 個々の木本一本当たり伐木時間

$\sum t_r$: 調査対象耕作放棄圃場の伐木時間

p_i : 10 a 区画への換算係数 ($1000/A_i$)

A_i : 耕作圃場の面積 (m^2)

t_{rl} : 休憩あるいは作業移行に必要な時間の比率 (時間/時間)

なお、 t_r は図12をもとに求めた回帰式 $y = 7.9927e0.173x$ によって算定した。

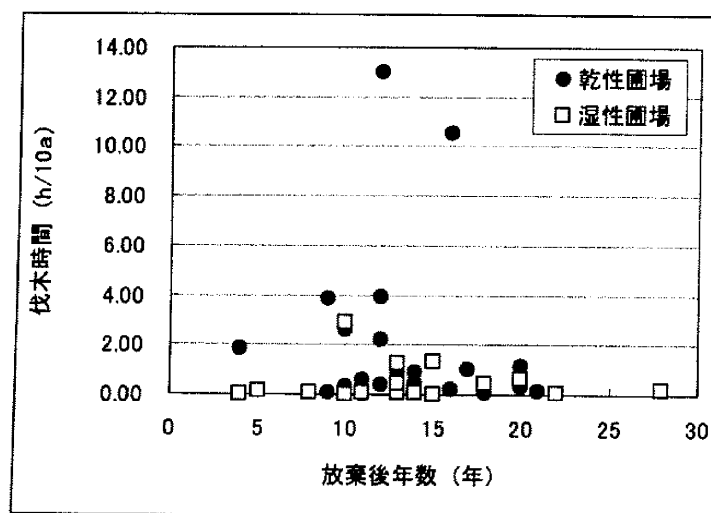


図13 伐木時間の推計値と放棄後年数

3. 伐木の排除

(1) 作業形態

伐木の排除には、通常バックホウを用いる(写真8・写真9)。木本の幹が細い場合には、バックホウのバケットで掻き集めあるいは押し出すが、木本の幹が 10cm 程度以上に大きい場合にはワイヤーロープで束ねてバケットの先端に吊り下げ、圃場から排出する。吊り下げ作業を伴う場合には、作業者はワイヤーロープの扱い者とバックホウのオペレータの2人となる。

(2) 伐木排除作業の一回当たり時間

伐木の排除については、作業試験のデータに基づいて排除作業一回当たり時間を求めた。

伐木の排除作業は、①伐木へのワイヤーロープ掛け、②ワイヤーロープのバケット付属フックへの懸架、③伐木の吊り下げ、④運転席の排除場所方向への回転、⑤排除先への移動走行、⑥伐木の排除場所への降下、⑦伐木のワイヤーの取り外し、⑧運転席の圃場内方向への回転、⑨伐木のある場所への復帰走行によって構成される。これらを、ビデオテープで記録し、作業毎に分解して時間を計測した。

データは、3つのケースでしか得ることができなかったが、これをもとに一回当たりの平均排除作業時間を求めた(表8)。バックホウの移動距離は平均移動距離として 25 mを与えた(区画形状: 50 m × 20 m)。また、走行速度は、現場での観察をもとに、伐木を吊り下げた状態では 3km/h、そうでない場合には 4km/h とした。

この結果、伐木の平均搬出時間として 156.5 秒/回を得た。

表8 伐木の搬出作業時間

作業内容	所要時間
ワイヤー掛け・つり下げ	1' 33" 05"
回転	0' 11" 30"
走行 3km/h・搬出(つり下げ)	0' 30" 00"
ワイヤー外し	0' 19" 01"
回転(復帰)	0' 10" 29"
走行(復帰) 4km/h	0' 22" 30"
月僕搬出1回当たり時間	2' 36" 29"



写真8 ワイヤーロープで吊下げ (03.11.24)



写真9 排出され集積された伐木 (03.11.24)

(3) 伐木排除の作業時間

伐木の排除回数を計算するため、一回当たり可能な伐木吊り下げ量を把握した。小山氏に吊り下げ可能(適性)量について聞いたところ、切り株直径 15cm の伐木 2 本程度であるとのことであった。そこで、切り株直径の二乗の和 500 を一回当たりの排除量の目安として、切り株直径 4cm 以上の木本について必要な搬出作業回数を推定し、一回当たり搬出時間(156.5 秒/回)を乗じて、圃場毎の伐木搬出時間を推計した(図14)。

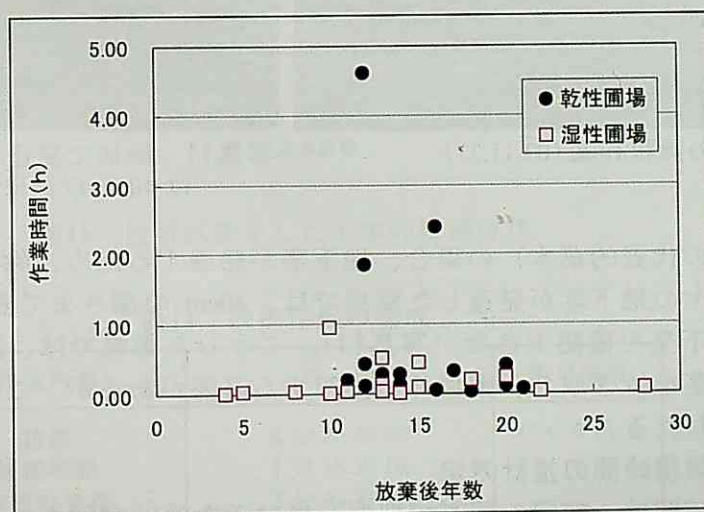


図14 伐木の搬出時間

4. 除根

(1) 除根時間の推計方法

除根作業時間は、①草本根株の除根と②木本切り株の抜根の作業時間の和である。

1) 草本の除根時間の推計方法

a. 草本の除根試験

草本根株の除根は、バックホー (0.4 m³) によって行う。

カヤ (乾地の代表的草本) の場合、多年草で株を形成するが、20 年近い期間において株は年を追って発達し、大型化する。このため、大型化した根株の除根は株毎に行うが、作業時間は根株の直径・深さによって異なる。試験的に行った除根作業では、作業時間は表9のようであった。小山氏の話では、カヤの場合、根株の直径には変化があっても、深さは一定以上には増大しないとのことであったが、表10でもこのことは確認できた。根株の直径が 60cm を超えるものでは一気に除根はできず 2 工程が必要であったが、40cm のものでは通常 1 工程で除根できた。但し、これらの値は作業機を株に対置し、作業準備ができた状態での作業時間であり、現場では機械の移動設定等の時間が加わる。

表9 カヤの株の形状と除根作業時間

根株直径 (cm)	根株の深さ (cm)	除根時間 (秒)
60	40	20
40	35	12



写真10 カヤの除根作業 (03.11.27)

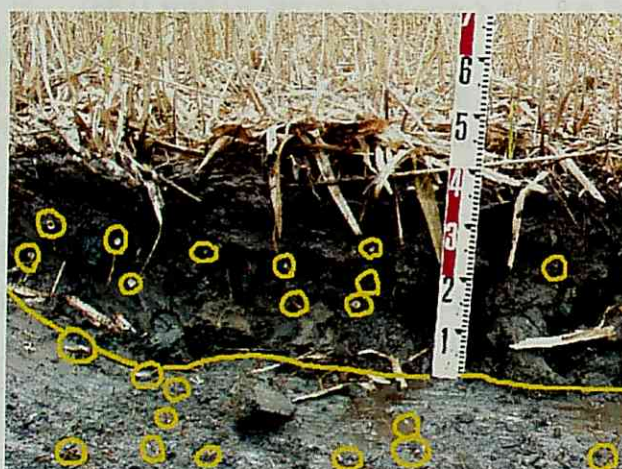


写真11 湿地で発達したヨシの地下茎 (○印) は 40cm 以深にも及ぶ (03.11.27)

ヨシ (湿地の代表的草本) の場合、地下茎が発達するため、除根作業はこれらの除去作業となる。カヤの地下茎が発達した圃場では、40cm の深さまで表土を排除しても 1cm 程度の太さの地下茎を確認できた (写真11)。こうした圃場では、除根のためには一様に表土と共に地下茎をはぎ取り、圃場外に排出する必要があるが、これらは基盤整備作業の中で一体的に行われる。

b. 草本の除根時間の推計方法

草本の除根時間は、前回の調査で把握しているため、今回もこれを用いる (表10)。

表10 草本の除根作業時間計算の基礎

根株直径	乾地植物（カヤ等）	湿地植物（ヨシ等）
30cm 未満	除根作業無し	株の形成がないため、除根作業無し
30 以上	1 時間/10 a	

2) 木本の抜根試験

抜根時間は、切り株直径が異なるいくつかの侵入木（ヤナギ）について、以下のような作業形態で抜根試験を行った。

a. 抜根作業

抜根試験は、圃場 no.18 における伐木の根株(15 本：図15)について、バックホー（0.4 m³）を用いて行った。

作業は、圃場の侵入口の近い場所から徐々に進めた。抜根作業は、抜根－根株の堆積等－移動の3種の作業が組み合わせによって行われる。作業者は、停止位置からブームの届く範囲の根株を抜根し、届く範囲に根株が無くなると移動し、同様の作業を繰り返す。抜根後、作業者は根株をその場に放置するのではなく、バックホーの停止位置毎にまとめる傾向があった。これは、排根作業の効率化を考えてのことと思われる。また、根株が大きく、大きな抜根穴ができた場合には、これを埋め戻した。

抜根作業時間は、直接的な抜根に最も多く費やされたが(52%)、約半分は移動・堆積にも多くの時間が必要であった（表11）。これをもとに抜根一本当たり移動・堆積時間の平均値を求めたところ、16.13 秒/本を得た。

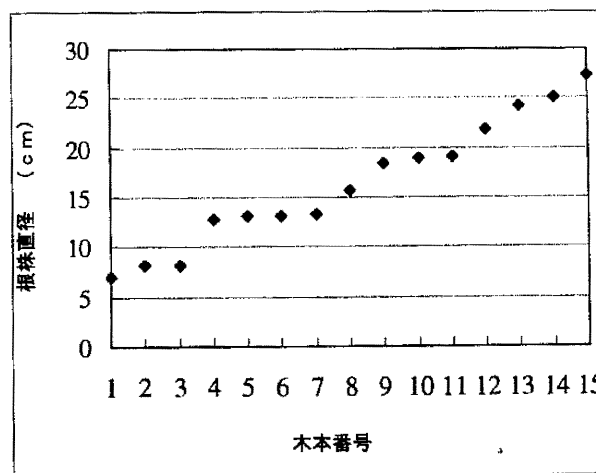


図15 抜根試験をした木本の根株直径

表11 抜根作業の構成

作業内容	時 間	使用機械
抜根	4 分 26 秒 00	バックホー
抜根移動	1 分 18 秒 06	
抜根の堆積	2 分 44 秒 40	
合 計	8 分 28 秒 46	

b. 抜根時間

根株を抜き取る直接の抜根時間は、切り株直径の増加と共に増大した。しかし、時間の大小は基本的にバックホウの掘削能力に依存し、一定の負荷以下で掘削できるものについては作業時間はほとんど変わらない。

今回の実験に用いた0.4m³タイプのバックホウでは、切り株直径が20cm未満では作業時間の差異は小さく、一工程で抜根が可能であった。しかし、切り株直径が20cmを超えると、一工程では抜根できず、2工程、3工程（例えば、切り株の幹にバケットの先を掛けて引き、根元がゆるんだ状態にして掘削・抜根する）の作業を要するケースが生じ、これが抜根時間の増加・差異に繋がった。また、同じ直径の木本であっても、地盤の乾湿、根塊の大小等によって抜根時間に差異を生じた。

抜根時間と根株直径の関係は、図16のようであり、回帰曲線 $y = 2.627e0.1001x$ ($R^2 = 0.7759$) をえた。



写真12 切り株 (03.10.29)



写真13 抜根作業 (03.11.27)

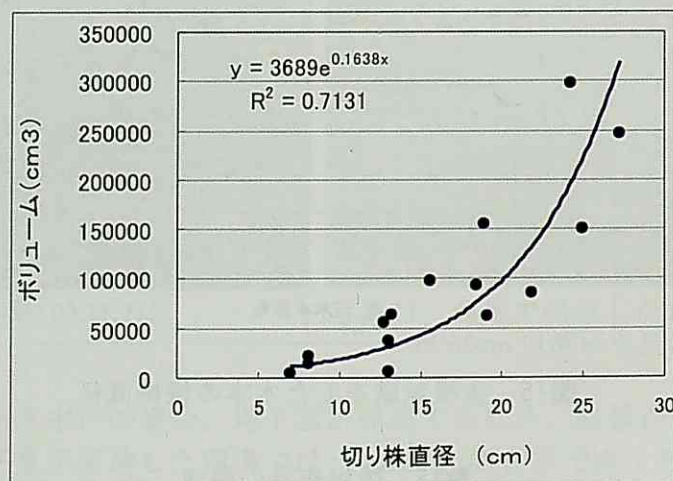


図16 切り株直径と抜根時間

c. 抜根作業時間の推計式

10 a 当たり抜根作業時間 (T) は、以下によって求めることができる。

$$T = p_i(1 + t_r) \sum (t_f + t_m + t_s) \quad \dots (3)$$

ただし、 t_s : 草本の 10 a 当たり抜根時間 t_f : 個々の木本一本当たり抜根時間
 t_m : 抜根後の予備的集積等の作業時間 t_s : 抜根時の移動時間
 p_i : 10 a 区画への換算係数 (=1000/耕作放棄圃場の面積 (m²))
 t_r : 休憩時間等の比率 (時間/時間)

d. 抜根作業時間の推計結果

式3を用いて抜根作業時間を推計し、図17をえた。

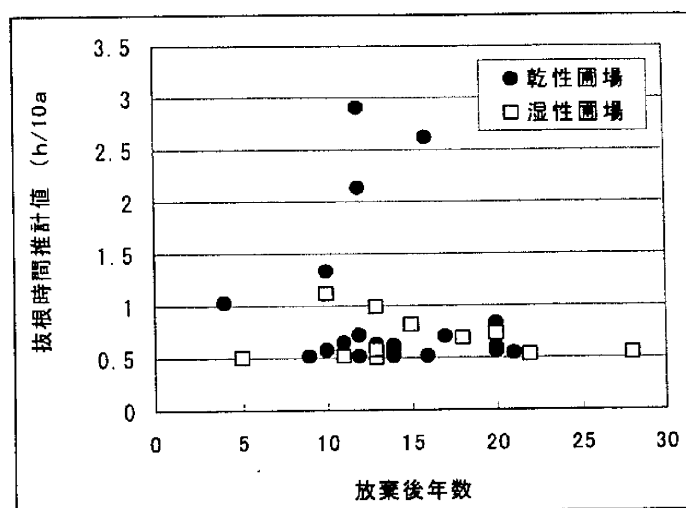


図17 抜根作業時間の推計

5. 排根

(1) 排根作業

排根作業においては、草本・木本の根株を一括して排除する。除根に連続する作業でもあるため、作業機は除根と同様、バックホウ(0.4 m³)を用いる。試験では、排根は復田対象圃場から搬出された後、当該圃場脇のスペースに野積みされた。大島村では、排根が域外にある特定集積場所に搬出・移動されることは原則的でないとのことであった。このため、排根の排除先に制約のある場合に比べて、排根費用は低く抑えられる。復田対象となる圃場の規模が小さいため、排出される根株や土砂の量が少ないことが、こうした処理を可能にしていると思われる。

排根作業は、以下の作業工程で行われる。

①バックホウを圃場内に停止させ、そこからブームを伸ばして届く範囲の排根をバケットの先で掃くようにしてかき集める(掻き集めによる一次集積)。

②一次集積した排根塊を纏めて圃場外へ搬出する。圃場外への移動(搬出)距離が20 m程度を越える場合にはブルドーザを用いて押し出すが、20 m未満であればバックホウを用いて排除する。バックホウで排除する場合は、掻き集めと同様の作業形態でバケットを使いながら、バックホウを徐々に後退させて搬出先まで根株を移動し、搬出先においてバケットを用いて圃場外へ排除する。

(2) 排根時間

1) 排根作業別時間の計測

木本の排根についても、実験を行い、ビデオテープによって作業毎の時間を計測した(表12)。排根作業は排根のかき集めと、圃場からの排根の排除によって構成された。

実験圃場(no.13)では、伐木の掻き集め作業は、[掻き集め-後退]の組合せ作業が4回

繰り返された後、掻き集めて終了した。また、排出作業は、かき集めた根株を圃場外にバケツで排出するものだが、排出作業をしながら、位置の変更・方向転換が小刻みに繰り返された。

表12 排根作業時間の計測値

	作業内容	実施回数	延べ時間
排根の掻き集め	掻き集め	5	2' 00" 51"
	後退	4	0' 17" 24"
	時間合計		2' 18" 15"
排根の排除	排除	11	3' 27" 52"
	掻き集め	2	0' 30" 34"
	後退・移動	2	0' 04" 33"
	方向転換	1	0' 13" 19"
	排出先の整地	3	0' 59" 45"
	時間合計		5' 16" 03"

2) 排根株のボリューム

抜根試験圃場no. 13は湿潤がちで、ヤナギが支配的であった。抜根後、根株の長径・短径・深さを測定した(表13)。根塊のボリュームは、切り株直径の増大に伴って三次元的に増加するのが確認された。

表13 切り株・根株の体積

番号	切り株 周囲 (c m)	切株直径 (c m)	抜根長 径 (c m)	抜根短 径 (c m)	深さ (c m)	根塊のボリ ューム (c m 3)	幹のボリ ューム (c m 3)	幹+根塊 (m 3)
A	78.5	25.00	140	100	60	140000.00	9812.50	0.1498
B	25.5	8.12	80	50	20	13333.33	1035.43	0.0144
C	58	18.47	120	110	40	88000.00	5356.69	0.0934
D	59.5	18.95	180	110	45	148500.00	5637.34	0.1541
E	68.5	21.82	130	90	40	78000.00	7471.74	0.0855
F	85.5	27.23	180	120	65	234000.00	11640.53	0.2456
G	41	13.06	90	90	25	33750.00	2676.75	0.0364
H	60	19.11	120	80	35	56000.00	5732.48	0.0617
I	76	24.20	180	160	60	288000.00	9197.45	0.2972
J	40	12.74	100	90	35	52500.00	2547.77	0.0550
K	41.5	13.22	135	90	30	60750.00	2742.44	0.0635
L	25.5	8.12	70	60	30	21000.00	1035.43	0.0220
M	41	13.06	50	40	10	3333.33	2676.75	0.0060
N	22	7.01	50	50	10	4166.67	770.70	0.0049
O	49	15.61	160	100	35	93333.33	3823.25	0.0972
							合計	1.3868

根株の形態は、樹種・圃場条件等によって異なった。湿性圃場に多いヤナギの根塊は耕土に沿って水平方向に広く発達していたが、鉛直根の発達はこちらに比べて弱かった。このため、抜根された大半のヤナギの鉛直根の長さは、50～60cm程度に止まった（バックホウの外力によって断根するため、実際の貫入深より小さい）。乾性圃場に多く出現するタニウツギは、鉛直方向への直根を発達させており、根幹が1m以深に貫入するものが観察された。

根株（地下部）のボリュームの推定においては、水平方向の長径・短径に鉛直深さをもった四角錐と仮定して算定し、これをもとに切り株直径と根株のボリュームの関係をみると、図18をえた（回帰曲線 $y = 3689e^{0.1638x}$ 、 $R^2 = 0.7131$ ）。

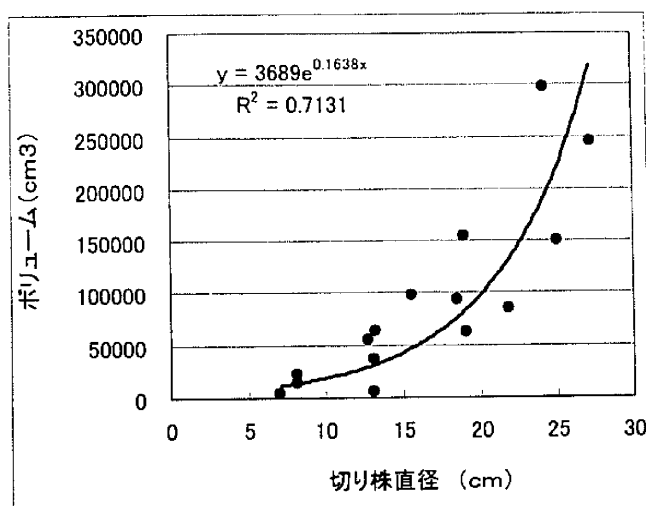


図18 切り株直径と根のボリューム



写真14 排根の集積作業



写真15 集積された排根

3) 排根時間の推計

a. 実験区の排根作業時間

排根実験区画では、排出先までの距離が15 m程度であった。このため、標準的な区画(50 m × 20 m)における平均移動距離 25 mとするため、移動距離をこれに合わせて換算し、排根時間とした。結果、10 a 区画における排根時間として 560.35 秒/回を得た（表14）。

表14 10 a 区画における一回当たり排根時間

作 業	時間(分)	時間(秒)
掻き集め	4' 04" 18"	244.3
排除	5' 16" 03"	316.05
合計	9' 20" 21"	560.35

b. 実験区の排根量

排根量の算定においては、根株（地下部）のほか、地上部の切り株（高さ 20cm）を加えた（表15）。この結果、排根ボリュームとして、1.39 m³を得た。

c. 1 m³当たりの排根時間

以上の結果から、排根 1 m³ 当たりの排根作業時間 = (560.35/1.3865 =) 404.15 秒/m³ を得ることができる。

d. 排根時間の推計結果

排根時間の推計値は、各圃場の排根推計量を 1 m³ 当たり排根時間（404.15 秒/m³）を乗じて得た（図19）。

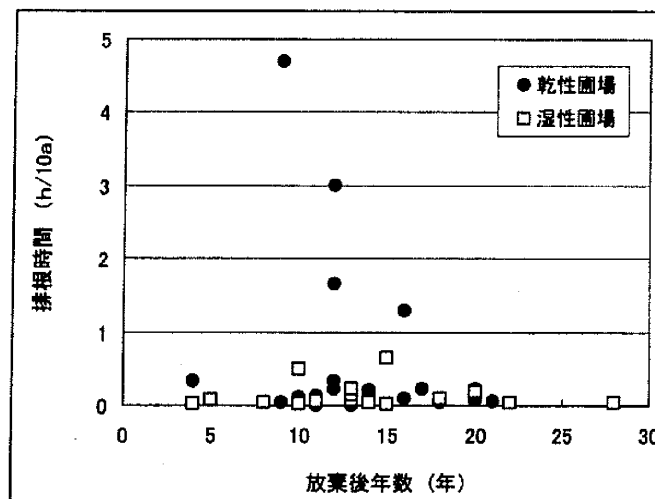


図19 放棄後年数と排根時間の推計値

IV. 復田コストの推計

1. 推計の手順

復田コストの推計は下記の手順で行った。

木本が侵入した圃場の 10 a 当たり復田コスト：C_wはの推計方法は、作業類型（表15）によって異なるが、以下の式(1)で概括することができる。

$$C_w = C_{ei} + C_{eg} + C_{lc} \quad \dots (1)$$

ただし、

C_{ei} : [木本排除費用/10 a]

= [実験圃場の(伐木+伐木搬出+抜根+集積)費用] × [実験圃場面積]/10 a

C_{eg} : [草本排除費用]

$$= [\text{草本排除費用}/10 \text{ a}] \times [\text{実験圃場の草本被覆率}] \times [\text{実験圃場面積}]/10 \text{ a}$$

$$C_{lc}: [\text{基盤整備費用}/10 \text{ a}]$$

すなわち、木本が侵入した圃場でも、草本の植被があるが、それぞれの排除を別途行うこととして費用を積算した。また、木本・草本の排除後は、圃場の状態によって対応する基盤整備(表15)を実施することとして費用を算出した。 C_{el} は、圃場毎の木本侵入状態(類型: W1 ~ W3)によって異なる。また、 C_{eg} は草本の植生ステージ等(類型: G1 ~ G6)によって変化する。これらを個別に計算して、総和として復田費用: を求めたのである。

ここに、木本排除費用は今回の実験値を用いるが、草本排除費用の推定においては、草本のみが侵入した類似圃場の10 a当たり復田コスト推定値(有田ら(2002)、および本報告書: III章(2))を用いた。基盤整備費用の内容も植生ステージや周辺状況によって変動するが、これも現地判定をもとに作業類型を適用し、有田ら(2002)の方法を用いて費用推定を行った。

表15 復田類型と作業内容

類 型		G I	G II	G III	G IV	G V	G VI	W1	W2	W3
作業主体	農 家	○	○							
	業 者			○	○	○	○			
復田作業 の構成	草本 排除	草刈り払い	●	●	●	●	●	●	●	●
		除 根			●	●	●	●	●	●
		集 積		●	●	●	●	●	●	●
	木 本 排 除	伐 木						●	●	●
		伐木搬出							●	●
		抜 根								●
		集 積							●	●
	排 根			●	●	●	●	●	●	●
	基 盤 整 備	整地				●	●	●	●	●
		レベル測量				●	●	●	●	●
		基盤均平				●	●	●	●	●
		畦畔造成		●	●	●	●	●	●	●
		耕 起	●	●	●	●	●	●	●	●
		水張り均平			●	●	●	●	●	●

2. 復田コスト(推計値)の算出

(1) 作業内容および使用機械

耕作放棄水田の復田に必要な作業の内容と使用機械は、表16のようであった。

復田機械は現場で用いられているものとした。トラクタ(ロータリープラウを装着)は、15PS(=11.025kW)と75PS(=55.125kW)を使用するが、前者は農家、後者は業者が保有するものである。補助作業員は手作業が必要な場合に導入する。

作業内容が同一でも、荒廃化の程度によって作業機械の組み合わせは異なる。例えば、除根作業において、根株が大きく深い場合はバックホウが必要だが、それ以外では小型の湿地ブルドーザ(3.5 t級)で対応できる。

表16 復田作業の内容と使用機械

作業機械	規格	作業内容											
		①伐木	②草の刈払い	③除根	④集積	⑤荒整地	⑥畦締め	⑦畦盛り	⑧レベル測量	⑨基盤均平	⑩耕起	⑪水張り均平	⑫排水口設置
チェーンソー	600mm	×											
草刈り機	肩掛け式		×										
湿地ブル	3.5t級			×	×	×	×	×		×		×	
バックホウ	0.35m ³			×	×	×	×	×					×
トラクタ	15PS級										×		
トラクタ	75PS級										×		
補助作業員					×				×				

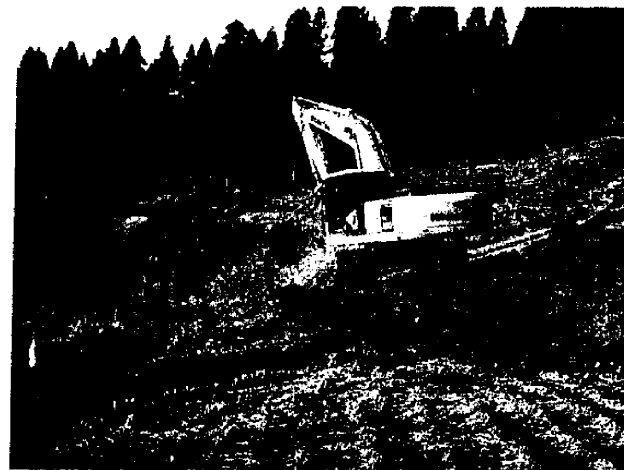


写真16 バックホウによる復田の施工状況

(2) 復田に用いる機械の使用単価

作業機械の運転経費は、[機械損料+燃料費+人件費]によって構成される。本研究で用いた運転単価は表17に示すとおりである。

人件費については、復田を農家が自力で行う場合は、平成13年度米生産費における家族労働費1,564円/時を使用し、業者に依頼する場合には建設物価等の積算単価を用いた。これは、既に報告済みの研究成果（有田ら(2002)）との連続性を確保するためである。

表17 復田用作業機械の使用料単価

作業機械	作業形態別単価（円/時間）	
	業者に委託	農家が行う
チェーンソー	2,635	-
肩掛け式草刈機	2,852	1,689
湿地ブルドーザ	5,912	-
バックホウ	6,534	-
トラクタ(15ps)	-	2,695
トラクタ(75ps)	9,119	-
普通作業員	2,086	1,564
特殊作業員	2,528	-

なお、業者に依頼する場合の人件費算入において、農用トラクタの操作時には普通作業員単価、ブルドーザ、バックホウ等の大型機械操作時には特殊作業員単価とした。作業機械の時間当たり単価決定で準拠した資料は、①土木工事については農林水産省・土地改良事業等請負工事標準積算基準、②機械経費については農林水産省・土地改良事業等請負工事標準積算基準、あるいは（財）建設物価調査会の建設物価である。

（３）木本侵入圃場の復田コストの推計

実際の復田では、[木本の伐採・排除+]、[草本の刈り払い・排除]、[基盤整備]これらは一連の作業として行われるため分離できない部分も多く、実態とはかけ離れてしまう可能性を否定できない。個別の作業についても、実験による測定では休憩時間等を考慮していないため、実際より過小になる傾向があった。これらについては、個別の作業及び全体の費用について数例の圃場について、実験・評価に付き合っていた小山氏の判断に基づいて係数値を用いるなどして調整した。

今回の調査で得た復田コストと放棄後年数との関係を図20～図21に示す。いずれも放棄後5年未満圃場および20年以上圃場のサンプルは少ない。

放棄後5年未満圃場データが少ない理由は以下のようなものである。①この段階では木本が侵入した圃場と草本のみの圃場の差異がほとんど無いため、判別が困難であった。また、②この段階では草本のみの圃場のデータで代替可能であることから、木本が春先に確認できる圃場を優先的に選定した（雪国では春先には草本のリターは押さえつけられているため木本の確認はしやすい）。

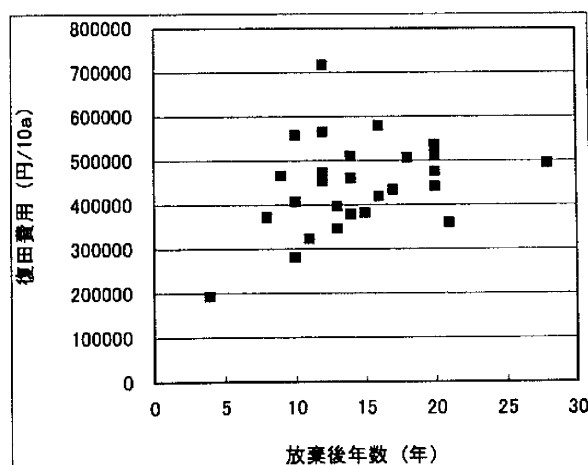


図20 木本侵入圃場の復田コスト(乾性)

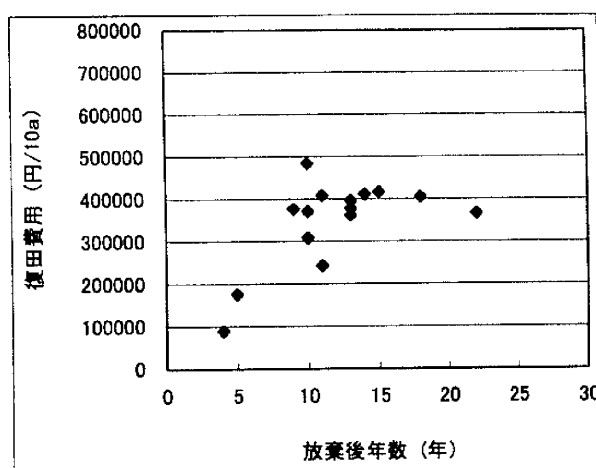


図21 木本が侵入圃場の復田コスト(湿性)

（２）草本のみの圃場

2001年度調査で得た復田コストと放棄後年数との関係を図22～図23に示す。

乾性圃場、湿性圃場共に0～30年の間で均等にデータを得ることができた。これは、共同研究者の大黒俊哉氏が以前から進めていた耕作放棄地の調査データを基礎とできた幸運による。本調査は、こうした前提がなければ実施は困難であった。表18は2001年度に行った復田コスト調査結果の一覧である。

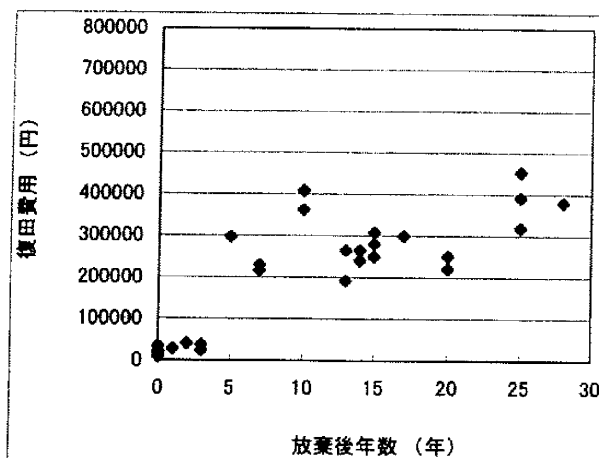
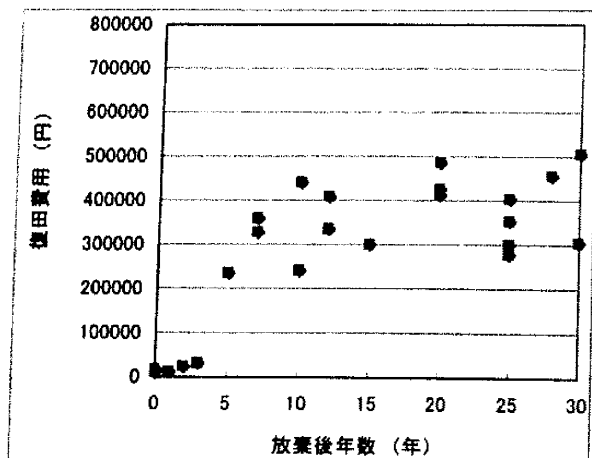


図22 草本のみ侵入圃場の復田コスト(乾性) 図23 草本のみ侵入圃場の復田コスト(湿性)

V. 考察－復田コストと耕作放棄田の維持管理

1. ロジスティックモデルへの当てはめ

(1) パラメータの決定

耕作放棄地の復田コストは、ロジスティック曲線の当てはめに適合することが知られている（有田ほか(2003)）。そこで、今回の調査データにもロジスティックモデル $Y = a / (1 + b \cdot \exp(-c \cdot X))$ に Java Script の統計処理を用い、非線形最小二乗法（Marquardt 法）による当て嵌めを行った。この結果、表18の係数値をえた。

表18 ロジスティックモデルの係数値および残差平方和

類 型		サンプ ル数	$Y = a / (1 + b \cdot \exp(-c \cdot X))$ のパラメータの値 および残差平方和	
乾性農地	草本のみ	21	a b c 残差平方和	396857.45 80.78 0.9012 66844365549
	木本侵入	33	a b c 残差平方和	462693.29 34.33 0.6527 215542833087
湿性農地	草本のみ	27	a b c 残差平方和	304424.18 84.04 0.8063 88522791921
	木本侵入	23	a b c 残差平方和	382058.39 91.92 0.8515 42047416150

当て嵌めにおいては、草本のみの圃場における放棄後3年分のデータを乾性・湿性に区分してダミーとして用いた。これは、放棄後3年未満の圃場を今回の調査では含んでいないことによるが、放棄後3年未満の圃場では、木本が侵入した場合とそうでない場合との間の復田コストにほとんど差異がないため代替可能性が高いと考えられた。

草本のみの侵入について2001年に実施した復田コストデータについても、乾性・湿性に区分して当て嵌めを行った。

(2) データと理論値

復田コストデータは、木本の侵入した圃場のばらつきの方が草本のみの侵入した圃場より大きい(残差平方和の差異)。また圃場間の格差が大きいのは、乾性圃場では10～15年の間である。これは、湿性圃場でも同様の傾向が認められる。データ数が限られるため余り踏み込んだ検討はできないが、現地での調査の経験を踏まえると、この時期は圃場間で木本の生長度の差異が大きいことと関連するものと思われる。

理論値の増加傾向は、初期には弱いですが、3～10年の範囲で急速に増加した後に急速に減退し、概ね10～15年後に頭打ちとなる。こうした推移は、乾性圃場湿性圃場共に変わらない。両者の差異は、湿性圃場では乾性圃場に比べて復田コストが少し早めに頭打ちとなることである。木本が侵入した圃場では、早期に木本が大型化する場合もあるが、草本との競合期間後に優先的な地位を確保することによって大型化する場合がある。こうした特性が草本のみの圃場との間に差異を生んだものと思われる。

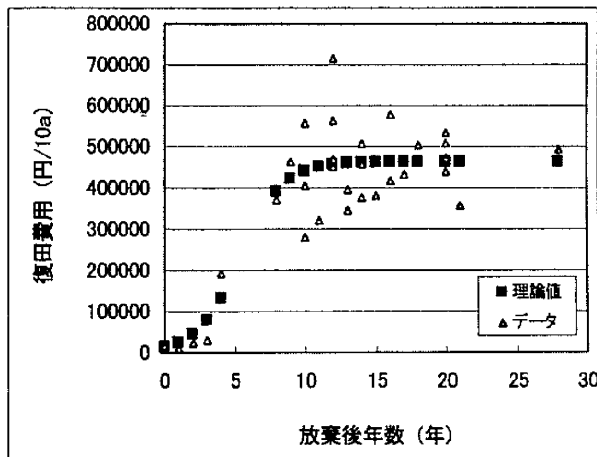


図24 木本侵・乾性圃場の復田コスト

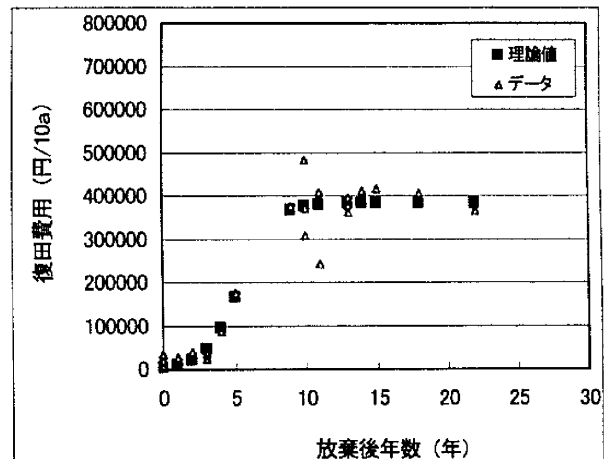


図25 木本侵入・湿性農地の復田コスト

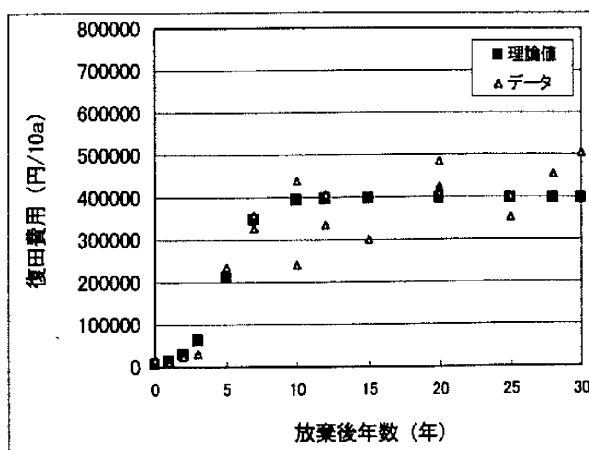


図26 草本のみ侵入・乾性圃場の復田コスト

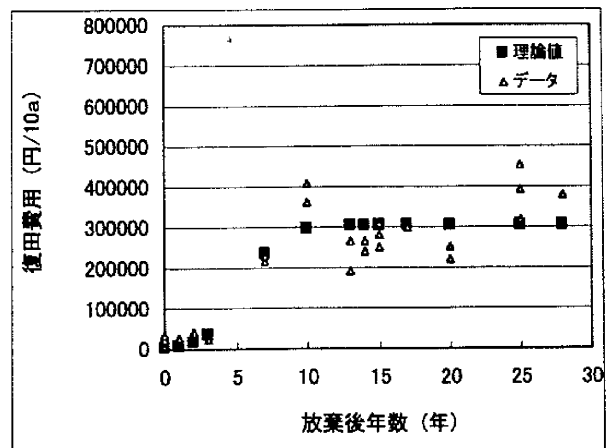


図27 草本侵入・湿性農地の復田コスト

(3) 復田コストに対する木本侵入の影響

図28・図29は、復田コストを、植生が草本のみの場合と木本が侵入した場合について乾性圃場と湿性圃場に分けて比較したものである。

両図共に、放棄後8年程度までは、復田コストは急激に増大するが、草本のみの圃場と木本が侵入した圃場の間に差異は認められず、ほぼ一致している。両者に差異が認められるのは9年目以降で、木本が侵入した圃場の値が草本のみの圃場の値を上回る。この差異は15年目位まで拡大し続けるが、それをすぎると両者の値は頭打ちとなり、差異の拡大も無くなる。このように、木本の侵入は8～9年目以降の復田コスト増大に繋がっている。復田を前提とした長期的な農地の管理においては、費用増大抑制の観点から木本の管理を早期に行う必要があるだろう。

次に、湿性圃場と乾性圃場を比較するため、これらを同一図上に示したのが、図30である。復田コストは、乾性圃場が湿田費用を上回る。これは、乾性圃場の植生繁茂が湿性圃場を大きく上回ること起因すると考えられる。両者の差異が明確になるのは5年目前後以降であり、13～15年後辺りまで格差は拡大し、その後格差は固定的となる。今回の調査の範囲では両者の格差は長期的にも解消されない。

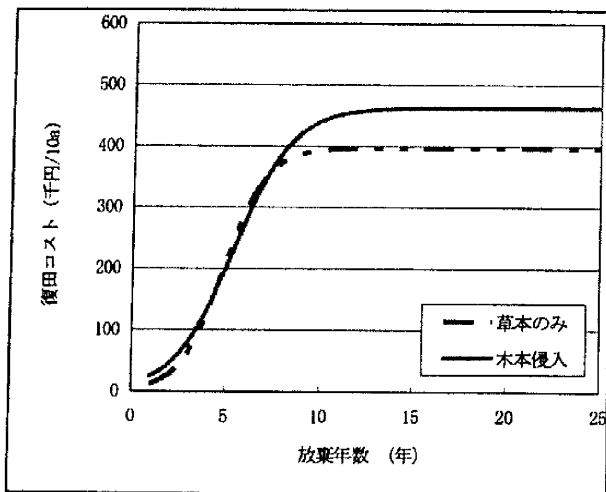


図28 乾性農地における復田コストのロジスティック曲線

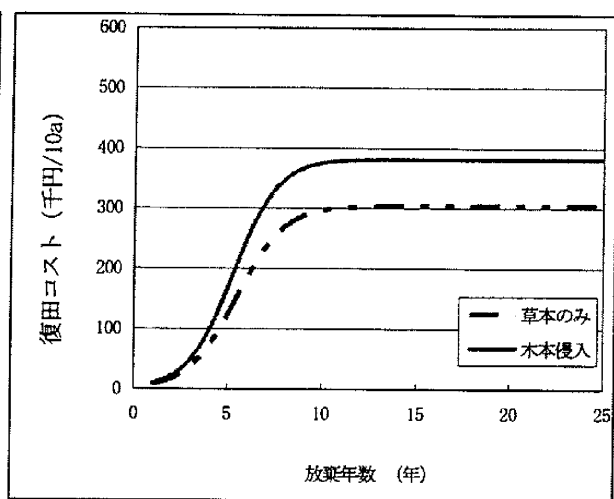


図29 湿性農地における復田コストのロジスティック曲線

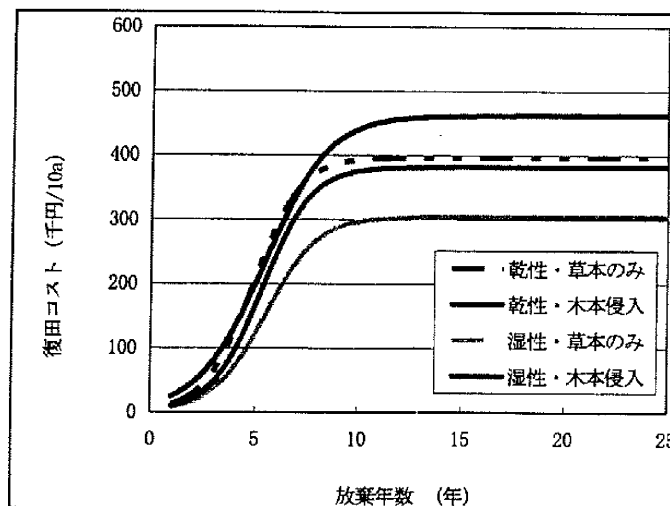


図30 復田コストのロジスティック曲線の対比

2. 復田方式と総費用

(1) 総費用

耕作放棄地を農地資源として長期的に保全するには経済的な方法によって復田を繰り返す必要がある。そこで、前節で得た復田コスト(理論値)を用いて、耕作放棄後に異なる期間で復田を繰り返すことによって資源保全を行うのに必要な費用合計、すなわち総費用を算定・比較し、適切な復田間隔を検討する。

総費用： T_x は、(1)式で求めることができる。ただし、復田のための費用は、毎年定額を積み立てることとする。

$$T_x = p_x \sum_{k=1}^x (1+i)/(1+i)^{(k-1)} \quad (1)$$

ここに、

p_x ：x年毎に復田する場合の年平均積立額

$$p_x = C_x / \sum_{k=1}^x (1+i)^{(x-k)} \quad (2)$$

C_x ：x年毎に復田する場合の一回当たり費用(ロジスティック曲線から読み取り)

(2) 耕作放棄田の復田総費用

耕作放棄田の復田を繰り返すことによる資源保全の総費用を、草本のみの場合と木本が侵入した場合に分けて計算した(図31～図34)。

総費用は、以下のような特徴をもつ。

①総費用は、放棄後毎年復田をする方式から7～8年間隔で復田する方式に至るまで急速に増大し、その後徐々に減少する(図34の、木本が侵入した乾性圃場はやや特殊な曲線を描くが、統計処理に於いて初年度の理論値がやや大きめに出たためと思われる)。

②木本が侵入した圃場の総費用は草本のみの圃場を上回る。

③利子率が高まるほど総費用は減少する。

④毎年復田を繰り返す方式と長期間放置した後復田する方式では、総費用の値は近づき、場合によっては毎年復田を繰り返す方式を下回る。これらに影響するのは、総費用の比較期間、利子率、復田コストの初期値等である。

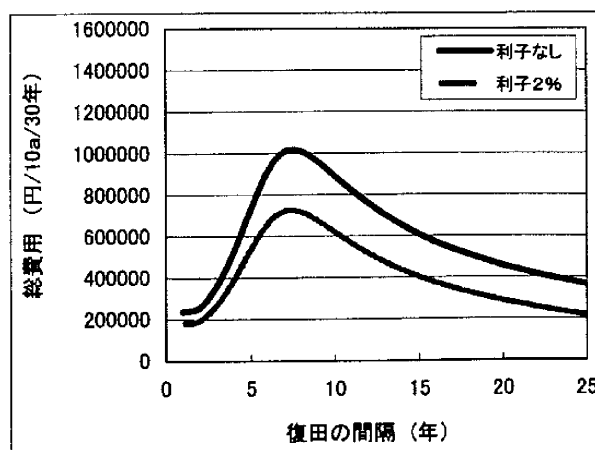


図31 湿性圃場における復田総費用(草本)

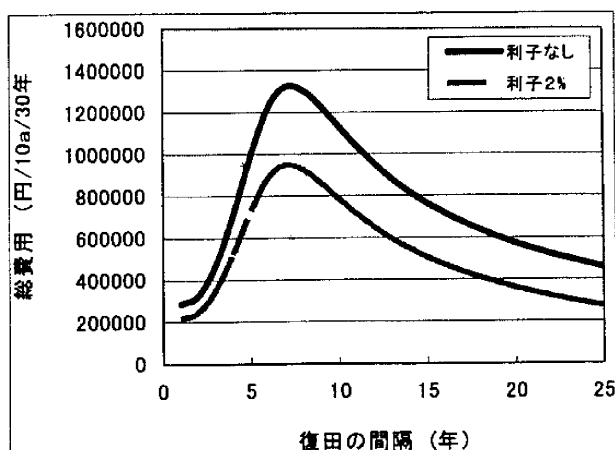


図32 湿性圃場における復田総費用(木本)

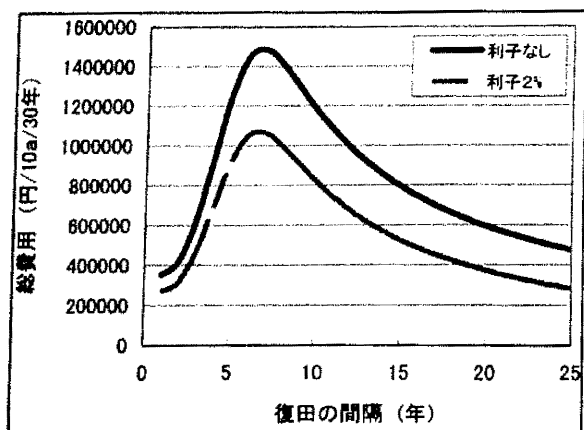


図33 乾性圃場における復田総費用（草本）

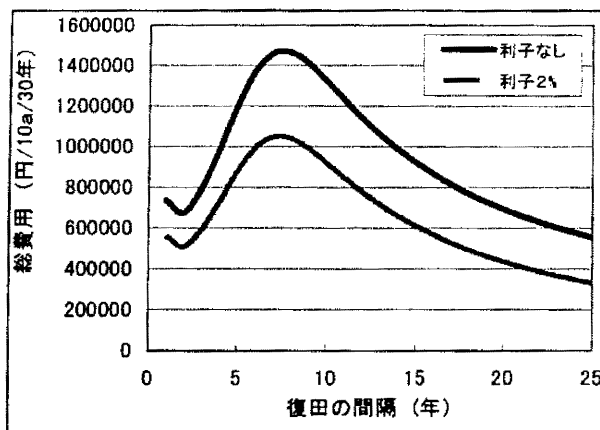


図34 乾性圃場における復田総費用（木本）

（２）復田総費用の比較

１）木本侵入圃場と草本のみの圃場

乾性圃場における草本のみの圃場と木本が侵入した圃場の総費用の最大値には、ほとんど差異が認められない(図35)。一方、湿性圃場では、両者の間には明確な差異があり、木本侵入圃場が草本のみの圃場を上回る(図36)。こうした差異は、乾性圃場と湿性圃場の植生の差異によるものと思われる。乾性圃場の植生は旺盛で、ほぼいずれの圃場でも数年後からススキ等の多年生植物が繁茂して、株を形成し、背丈も急速に高くなる。一方、湿性圃場では、放棄後の植生は多様で、早い内からヨシが占有し、密生する場合もあるが、数年間はホタルイやミゾソバなどの小型雑草が繁茂する事例も見られる。湿性圃場では木本の侵入した場合にも植生は多様だが、草本の競争相手が繁茂しない場合に木本は急速に生長する。

一方、総費用の最大値を示す復田間隔以上の部分では、総費用は木本の侵入した圃場が草本のみの圃場を上回る。この差異は、木本が侵入したことによる影響と思われる。乾性圃場では多年生の株が徐々に老化・劣化していくが、木本はこれに反比例して成長速度を速めるのである。湿性圃場においても、周辺の草本より頭を上に出せるだけに成長した木本がこれ以降、急速に成長する。総費用の差異は、こうした木本に対する伐採等の費用増加が、草本の減少による費用減少が上回ることによってもたらされるものと思われる。

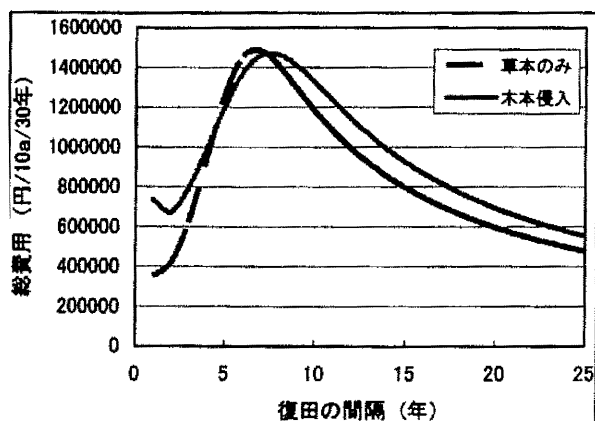


図35 乾性圃場における復田総費用

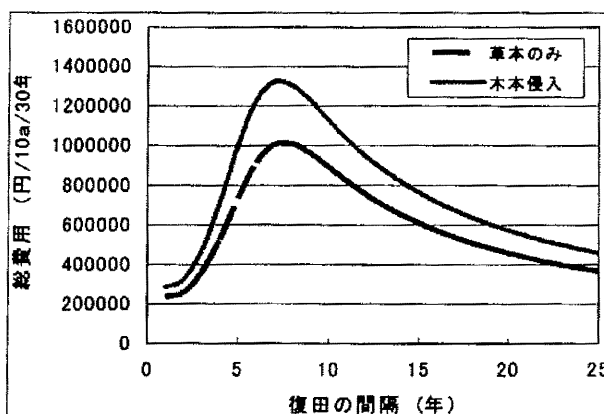


図36 湿性圃場における復田総費用

2) 乾性圃場と湿性圃場

乾性圃場と湿性圃場の総費用を対比すると(図37: 木本侵入・利子を見込まない)、乾性圃場が湿性圃場を全期間に亘って上回る。乾性圃場では、植生の繁茂が早いのに対して、湿性圃場では湛水が植生の繁茂に対して乾性圃場より抑制的に働くことがこうした差異をもたらしたと思われる。ピーク値を示す7~8年間隔を上回る復田方式の段階にも、今回の調査では両者の差異は縮小していない。木本が侵入しても、湿性圃場では乾性圃場のような復田コストの押し上げには繋がっていないのである。

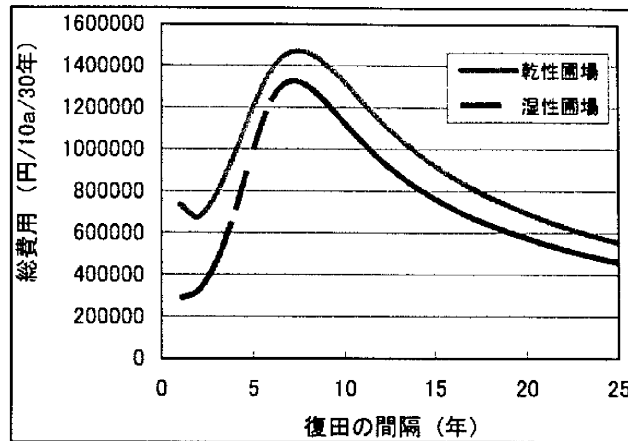


図37 湿地と乾地の復田総費用の比較 (木本侵入)

VI. 考察

1. 耕作放棄地の農地資源管理方法

(1) 復田総費用からみた経済的な農地資源管理

復田の繰り返しによる農地資源の保全においては、復田総費用を節減する観点に基づくなら二つの選択が可能であろう。第一は、放棄後も毎年の継続的な維持管理作業を続ける方法、第二は、長期に亘って耕作放棄田を放置し、改めて農地が必要となった段階で復田する方法である。今回の調査結果に基づく限り、両者の総費用の間には大きな差異は見られない。

第一の方法は、農家の保有する農機を用い、軽微な労働で実行できる点に特徴があるほか、以下のような利点がある。すなわち、農地は常に利用可能な形態を維持していることから、食料事情の悪化に対して即時の作付けが可能であるため即応性が高い(しかし、ある程度の土壌劣化は覚悟しなければならない)。しかも、植生は遷移の初期段階に押しとどめられるため、景観的にも荒廃化を回避できる。このことは、ツーリズムの展開にも有効性が高いが、何より農村住民のコミュニティに対する喪失感を押しとどめ、安心感を生み出し心の支えとなるだろう。

一方、課題もある。その第一は、こうした作業を行う労働力の確保が可能であるかどうかである。耕作放棄が進行している地域は労働力が不足し、圃場条件も不十分な地区が多い。このため、省力的な維持管理方法を開発すると共に、基盤整備の推進、維持管理を行うための経済的インセンティブを与える措置、新たな労働力の確保等の対策が求められる。

第二の方法の利点は、長期に亘って維持管理を行わないため、その間はほとんど費用の発生が無いことである(耕作放棄地が崩壊等によって破壊された場合には修復のための費用が発生する場合がある)。維持管理に伴って生じる労力確保のための対策等も必要ではない。こうしたことは、労力確保が困難化している中山間地では受け容れられやすい側面

をもっている。

一方、課題は多い。第一に、長期に荒廃化した農地の復田には多額の復田コストが必要なか、工事には重機の動員や換地が必要であることから、一挙に大量の農地供給は困難であるため、緊急時の即応性に乏しいのである。また、復田後に農地の地力が復帰・安定するまでの期間が耕作放棄後の時間経過と共に長期化する。第二に、農地の維持管理をしないと農道や水路等の荒廃化も進行し、周辺農地の所有者の維持管理負担を増大させる。第三に、耕作放棄田では耕作が放棄され、農地の植生は草地・林地に遷移していくため、農地は荒廃した景観を長期に亘って呈する。これは、農村のツーリズムにとってマイナス要因となるばかりでなく、農村住民の喪失感を強める。耕作放棄農地の管理に熱心な地区での聞き取りでは、管理を始める動機の1つとして、故郷が荒れるのを見て気持ちがすさんでしまうのを避けたかったという話を聞くことが少なくない。

(2) 復田コストからみた農地資源管理

総費用が同じであっても、復田における一回当たり費用負担の大小は、農家経営に及ぼす影響が異なる。農家は、毎年定常的にわずかの負担をする場合には、何とか圃場の管理を続けようとするが、ある年に多額の金銭負担が必要となると、復田による農地資産の管理継続の是非をその時点で再検討することになるだろう。しかも、条件不利地域では、農地の売買単価は安く、農家の資産に対する自己評価も低いため、農地への再投資を選択するより、これを機会に管理放棄を選択する可能性が高い。

こうしたことから、復田コストの観点から捉えた場合、一回当たりの復田コストが少ない方式を選択することが、管理の継続に対する農家の積極的受け入れを引き出しやすいものと考えられる。ここでも、毎年の軽微な管理(復田)による農地資源管理が、農家の経済負担面で有利性が高いといえるだろう。

(3) 今後の農地資源管理方法の提案

1) 毎年の軽微な管理による農地資源保全

農地は適切な維持管理の継続によって良好な生産機能を発現する。耕作放棄は、こうした農地の資源的特性と維持管理とのサイクルを断ち切るものである。こうしたことから、農地の保全に当たっては適切な維持管理の継続が重要な意味をもつが、復田コストの検討結果は、毎年の軽微な管理による農地資源保全が、経済的にも農家の負担形態面においても、合理的で妥当性が高いことを示している。

また、農地の集団的な保全を考えるなら、耕作放棄状態が長期に継続することは周辺農地に悪影響を及ぼし、地域全体の復田コストを押し上げる。

農地の廉価で省力的な維持管理方式の検討が今後重要な課題となるだろう。こうした中で、本論では、荒廃農地の復田のための総費用は、湿性状態で管理する方が乾性状態で管理するより少なくすむことを明らかにした。また、湿性状態では植生の繁茂も抑制されるため、景観の荒廃化も進みにくい。こうした知見は、廉価で省力的な維持管理を考える上で、多くの示唆を与えるものと思われる。

2) 周辺状況の考慮

今回の調査では、耕作放棄田の内部部分の復田コストのみを対象として推計した。付帯する水路や農道は考察の対象とはしていない。これは、復田コストの増加の傾向を明確にするには、調査の対象範囲を限定する必要があるためである。しかし、現実の耕作放棄に於いては、復田コストはこれだけに止まらない。

現実の復田作業においては、圃場に付帯する水路や農道の補修・復旧などの費用が発生する。しかし、耕作放棄が単独の圃場で起きているときには、周辺圃場の利用上の必要性

等の理由から管理されるため、劣化はあまり進まないが、周辺農地が集団的に放棄されると、水路・道路の劣化は急速に進行する。舗装されていない農道では、農業者が利用しなくなって3年もすると、ススキ等の多年生草本が路面に繁茂し、夏場の通行は極めて困難となる。水路についても、同様の事態が進む。このため、周辺農地の維持管理状況によって水路・道路の劣化は左右されるため、復田コストの節減にとっては攪乱要因となるのである。

復田コストを実体的に捉えるには、こうした周辺状況の劣化に伴う費用も踏まえて検討する必要がある。地区によって荒廃化の推移形態は異なるが、こうした費用は耕作放棄の進行と共に増大するのである。

2. 耕作放棄田における樹木の侵入防止策

耕作放棄田における木本進入の形態は、類型的にとらえることができる。これらの特性を把握すれば、木本の進入防止対策を構築できるものと考えられる。

(1) 耕作放棄田における木本の特徴的な侵入形態

1) 攪乱に依存した進入

農地は耕起や除草によって毎年同時期に継起的な攪乱が起きる環境である。このため、農地で耕作が続いている限り、木本は発芽しても成長できず、定着できない。しかし、耕作放棄はこうした耕作を中断させるため、その後は災害等の発生を除いて継起的な攪乱は起きず、固有の植生遷移を辿ると考えられる。

耕作放棄後の水田には、水田雑草の埋没種子があるほか、ヤナギ、ハン、タニウツギ等のパイオニア型の木本種子が外部から侵入し、発芽する。これらの木本は、攪乱異存種であり、耕作放棄直後あるいは他の植物が侵入できない早期に侵入し、その後の一定期間における植生を特徴づける。

耕作放棄後に特徴的に見られる攪乱は、耕作放棄田周辺の畦畔や斜面の崩壊によってもたらされるものである。畦畔の崩壊の規模は大小多様だが、上段側の圃場の基盤を露出させると共に、下段圃場の植生を埋没させ、裸地化する。こうした場所には、新たな植生が形成される条件が提供される。タニウツギが密生した耕作放棄地（no.1）では、周辺斜面の崩壊がこうした単純な植生をもたらした原因であると推測された。

2) ストレスに依存した進入

畦畔等が保全される限りにおいて、通常、水田土壌は湿潤状態が持続する。このため、一般的に、これがストレスとなって乾地に適合する木本は侵入しにくい。しかし、耕作放棄後の水田の全てが湿地状態を持続するわけではない。畦切りが行われた圃場、畦畔の崩壊が起きた圃場、用水の流入が減少した圃場では乾性化が進むが、この場合は湿地適合型の木本は侵入が困難化する。耕作放棄田の植物が受けるストレスは、放棄後の乾湿によって異なるのである。湿地状態で存続し続けた圃場には湿地適合型木本が、乾地となった圃場には乾地適合型の木本が侵入する。

また、耕作放棄後には草本（初期には一年草が優勢、その後多年草が圧倒）との混在の中で、日照等の障害を受けるほか、今回の調査地である新潟県頸城郡のような積雪地域では雪によるリターの加圧等があるため、こうした条件の中で適合環境を確保できる限られた木本が生存し続けることになる。このため、耕作放棄の初期に侵入に失敗あるいは草本との競争に敗北した場合、草本が密生すると日照は地面にほとんど届かなくなり、木本の侵入は困難化する。木本が再び侵入のチャンスを得るのは、草本の株が老化しギャップが生じる段階である（大黒 1996）。大島村においても、乾性の耕作放棄圃場ではカヤの株の老化によるギャップの発生部分にタニウツギ、フジ、ネム等の侵入が確認できたが、ヨシが密生した湿性圃場ではこうした傾向は確認はできなかった（大黒 1996 参照）。比較的長

期的に見た場合、湿地と乾地では日照に対するストレスは異なっている。

3) 競争による優占

耕作放棄田に侵入する植物の種類は、木本に比べて草本が圧倒的に多い。このため、草本と同時期に進入した木本は、木本相互の競争以前に、草本との競争に勝ち残らなければならない。耕作放棄田では乾性圃場の場合、放棄の起きた初年度は一年草が繁茂するが、数年でススキ等（湿地の場合、大島村ではヨシ）の多年草が圧倒する。このため、陽地性のパイオニア型木本は、初期段階で草本と同等あるいはそれ以上の背丈を確保できていなければ、成長の条件は極めて制限される。

生存のための木本と草本の拮抗した競争条件は、木本が草本の背丈を圧倒する段階まで続く。草本は数年でカヤ、ヨシ等の多年草が優勢となるが、侵入した木本はこれらとの競争条件の中で容易に成長できない。草本は条件が良ければ数年で 2.5 ~ 4.0 m 程度の背丈にもなるが、木本がこうした草本の背丈より低い段階においては、年間の成長量も小さく、草本に圧倒されている。このため、夏期には圃場の外部からは確認が困難であることも多い。しかし、木本が草本の背丈を超えると、生長量は急激に増大する。これは、伐木調査で、10 数年以上の樹齢のオノエヤナギの年輪を見ると、ある時期以降を境として年輪の幅が急に大きくなっていることによっても確認できる（写真17）。木本の樹高が草本を圧倒することによって、それまでの競合関係は大きく変化し、日照の獲得競争において優位に立つことが原因と思われる。



写真17 ある段階以降に年輪の幅が大きい切り株（オノエヤナギ）

（2）耕作放棄田への樹木の侵入タイプ

耕作放棄田の樹種構成、樹高・体積分布を規定している要因は、圃場条件の差異にあると思われる。現場の観察では、樹木の侵入形態は、圃場の乾湿と進入時期の差異によって概ね次の4タイプ（表19）に区分できた。

各タイプは、以下のような特徴をもつ。

侵入タイプⅠ：湿性・乾性を問わず、耕作放棄の初期に木本が侵入

侵入タイプⅡ：湿性圃場で、初期には水深が大きいなどの理由から木本が侵入しなかったが、数年後に水深の低下や圃場面の不陸による乾湿差の発生等に伴って木本が侵入

侵入タイプⅢ：乾性圃場で、初期に草本が優越・密生したため木本は侵入できず、カヤ等の草本の株が劣化してギャップができたところに木本が侵入

侵入タイプⅣ：乾性・湿性を問わず、畦畔の崩壊等によって土砂の侵入・崩壊面の露出が生じた場所に、木本が侵入

耕作放棄田の多くはいずれかのタイプに区分できるが、いくつかのタイプがモザイク状に複合したと思われる形態もある。

表19 耕作放棄田への木本進入の形態類型

圃場の 乾湿	侵入の時期		
	耕作放棄後		斜面崩壊等 による不時 の露頭出現
	初 期	数年後	
湿性	I	II	IV
乾性		III	

(3) 耕作放棄田における樹木の侵入防止策

進入樹種が耕作放棄田で限定されるのは、耕作放棄直後は湿地状態のもとで進入を試みる木本にとって高いストレスがあるほか、一年生の水田雑草が雪解けと同時に全面を覆うため、木本にとって侵入できる期間が比較的短期に限定されるためと考えられる。また、湿性圃場では、湛水等による環境ストレスが乾性圃場に比べて高いため、侵入できる樹種は更に限られるものと考えられる。

こうしたことから、木本の侵入を防止するには、侵入タイプ毎に以下のような対策が考えられる。

タイプⅠの場合：初期段階の木本は草本との競争段階にあり、茎も細い。このため、草本の刈り払いや耕起の中で排除は可能である。しかし、刈り払いや耕起を行わずに放置すると、時間の経過と共に木本の樹高が草本を上回った段階で木本は急速に伸長する。この段階になると刈り払いや耕起では対応できず、チェーンソー等による伐木が必要となる。こうしたことから、木本の侵入を防止するためには、早期の刈り払いと耕起、とりわけ耕起が有効と思われる（刈り払いは、木本の根部を排除できない）。

タイプⅡの場合：湿性状態とりわけ湛水状態の耕作放棄田では、木本の進入は乾性圃場と比べて遅く、個体数も少ない傾向がある。これは湛水のストレスによって、木本の侵入が抑制されるためと思われる。しかし、耕作放棄田が長期間放置されると、圃場面に不陸が形成され、同一圃場内に水分環境の異なる部分が生じ、多様な植物の侵入可能な環境を用意することになる。木本の侵入が進むのはこのような環境下である。こうしたことから、湿性状態の耕作放棄地への木本侵入を防止・抑制する方法は、できるだけ湛水状態を維持し、圃場環境を均一化するための定期的な耕起・均平作業を実施することである。また、湿性状態での侵入樹種は主としてヤナギであるため、これらに対する侵入防止対策を講じることによって、樹木の侵入防止がほぼ達成されるものと思われる。

タイプⅢの場合：乾性圃場で初期段階に木本が侵入に失敗した場合、圃場面は長期にカヤ等の草本によって密に覆われ、侵入は困難化する。再び侵入が可能となるのは、耕作放棄田が長期に亘って放置され、カヤ等の株が劣化してギャップが生じる段階である。大島村の事例では 20 年以上耕作放棄された圃場でギャップへのタニウツギ等の木本侵入が見られた。耕作放棄田でこうした木本侵入を抑えるには、草本の刈り払いを定期的に行うことによって、草本を密生させ、木本の侵入機会を長期的に奪い続けることであろう。このため、こうした圃場では、定期的な刈り払い等による攪乱を行い、草本の優先的生育環境を維持することであると考えられる。

タイプⅣの場合：周辺圃場における管理の劣化や自然環境の偶然によって引き起こされる斜面崩壊が引き金となる木本侵入であるため、斜面崩壊の防止と崩壊が起きたときの応急対策が木本侵入の防止にとって重要であると思われる。しかし、こうした管理対応は、本体圃場部分の管理が一定水準を満たしている場合に可能であり、耕作放棄田のように圃場の日常管理が放棄されている状態では、崩壊の事実気付くのが困難であるほか、気付いたとしても崩壊地だけの管理・修復は事実上できない。したがって、こうした圃場の木本侵入は、耕作放棄田の定期的な監視や除草等の管理を前提として、適宜斜面の補修や圃場の均平等を行うことによって防止できるだろう。

以上のことから、大島村と同様の気象・植生の特性をもつ地域での耕作放棄地への木本侵入防止対策は、①初期段階における耕耘、②均平・湛水による均質な湿性状態を維持することがを先ず優先的対策として組織化することであると考えられる。

Ⅳ. おわりに

大島村における復田の事例では、長期に放置された湿性圃場においてはヨシの地下茎が入った土層は排除され、乾性圃場においてはススキ等の多年草の根株とこれに付着した土壌は排除される。このため、本来なら優良な表土となるべき土壌が、復田作業において失われている。条件不利地域の傾斜地等では、圃場整備時に表土扱いをしても、土地の生産力が元に戻るまで 10 数年程度必要であるとの話を農家から聞くことがある。長期の耕作放棄後に復田をしても、農地の生産力が十全となるには相当の時間が必要である。

また、こうした復田に伴う排出土は、通常は適当な場所まで移送されることがなく、最寄りの谷間の斜面等に排除される。このため、復田作業は斜面の植生を破壊・攪乱する可能性もあるため、外部不経済も地域差はあるが復田に伴って発生する。

耕作放棄後の復田は、農地に復帰するための直接的費用の他、これらの不経済を同時に発生させることを忘れるべきではないだろう。今回の費用計算ではこれらは考慮されていないことを、最後に付記しておきたい。

本研究の推進に当たっては、北陸農政局、大島村役場及び小山建設・小山章喜氏から多くの便宜を受けた。また、斉藤亮司氏から貴重な資料の提供を受けた。調査においては、新潟大学農学部生産環境科学科の学生諸君の助力があった。記してお礼申し上げる。

参考文献

- 有田博之・山本真由美・友正達美・大黒俊哉(2003)：耕作放棄水田の復田コストからみた農地保全対策－新潟県東頸城郡大島村を事例として、農業土木学会論文集225、pp. 95 -102
大黒俊哉・松尾和人・根本正之(1996)：山間地における放棄水田と畦畔のろ面の植生動態、日本生態学会誌 46、pp.245-256

(有田博之・大黒俊哉・友正達美)