

3.3 自然共生化技術開発

本報告書では、自然共生型流域圏・都市の再生を図る上で欠くことのできない要素として、都市・流域圏の環境モニタリング、都市・流域圏の管理モデル、自然共生化技術、及び、自然共生型社会シナリオとその実践と取り上げて議論している。ここでは、これらのうち自然共生化技術に焦点を当て、現在、関係各省の試験研究機関がその開発を手がけているいくつかの代表的な要素技術を取り上げ、その研究の現状を簡単にまとめて紹介する。

図 3.3.1 は、これらの研究の全体像を示したもので、生態系の保全・再生・機能向上、都市における水循環の健全化、砂浜の再生、環境評価技術の開発、及び、下水・排水処理技術の開発に分類することができる。これらの研究の中には従来から行われていたものもいくつかあるが、新たな観点や発想からの研究も多く含まれている。また、これらの要素技術に関する研究は、自然共生型流域圏・都市の再生を図るための都市・流域圏の環境モニタリングネットワークや、都市・流域圏の管理モデルの構築とその活用、自然共生型社会シナリオの作成とその実践とも深く関わっている。それだけに、これらの研究による成

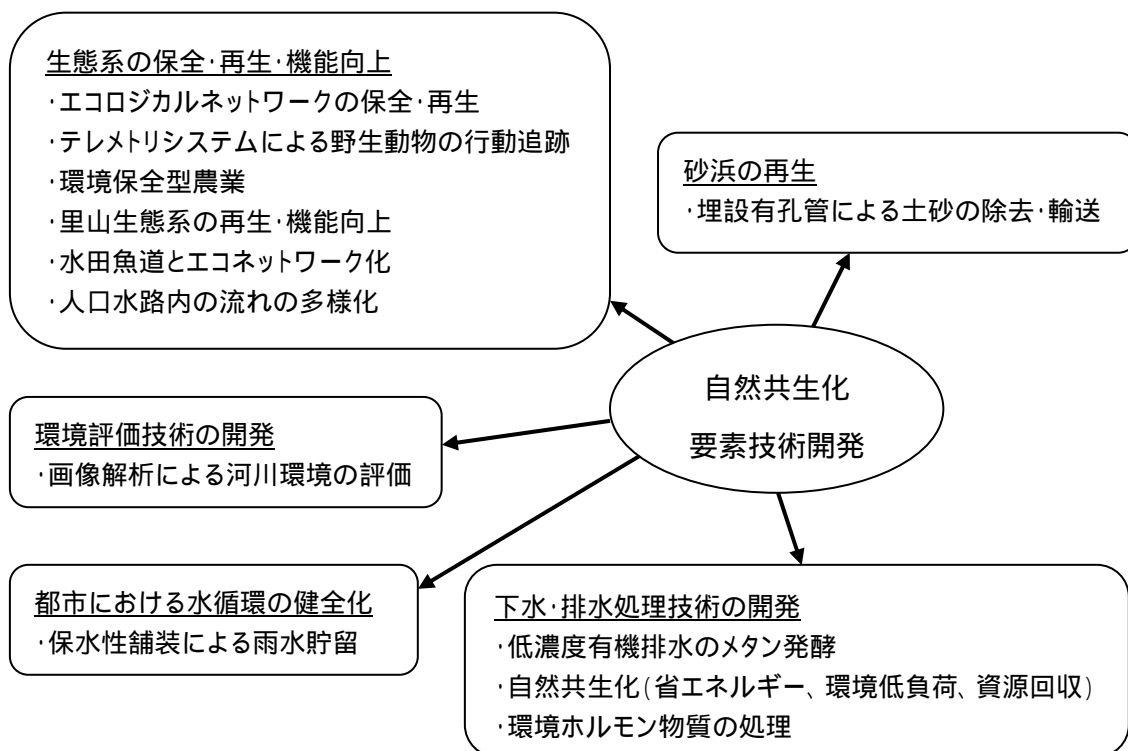


図 3.3.1 国立試験研究機関が現在取り組んでいる代表的な自然共生化要素技術の研究

果は、今後の自然共生型流域圏・都市再生において、有用な知見としてその活用が大いに期待される場所である。

以下、それぞれの研究の概要並びに進捗状況につき述べる。

(1) エコロジカル・ネットワークの保全・再生技術

都市を含む流域圏における生態系の保全・再生等を実現するため、施策による環境の改善度および費用対効果を勘案したエコロジカル・ネットワーク計画の手法を広域（1:100,000～1:200,000）、中域（1:10,000～1:50,000）、小域（1:2,500～50,000）の三つの空間スケールにおいて開発した。指標種は、ツキノワグマ、ニホンリス、シジュウカラとした。

図 3.3.2 に研究フローの概略を示した。施策の検討は緑化生態研究室で設定した 3 種類のシナリオを適用し、指標種の生息予測モデルを開発し、各施策の 30 年後の予測生息適地図を作成した。次に、各施策に要するコストを概算し、生息適地の面積や分布等を比較し費用対効果を提示した(図 3.3.3)。

エコロジカル・ネットワーク計画の検討は、将来消失する可能性が高い良好な生息適地と再生・創出等の保全策を講じることにより将来好適生息地となり得る地域や分断箇所を抽出し行った(図 3.3.4)。

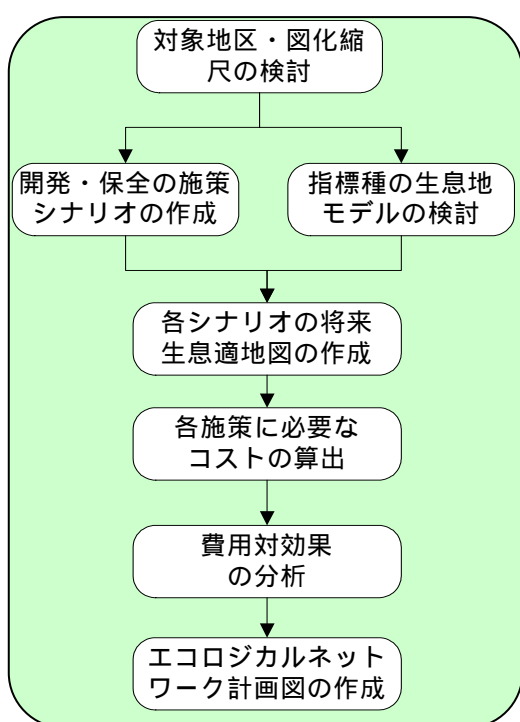


図 3.3.2 研究フロー

(国土技術政策総合研究所)

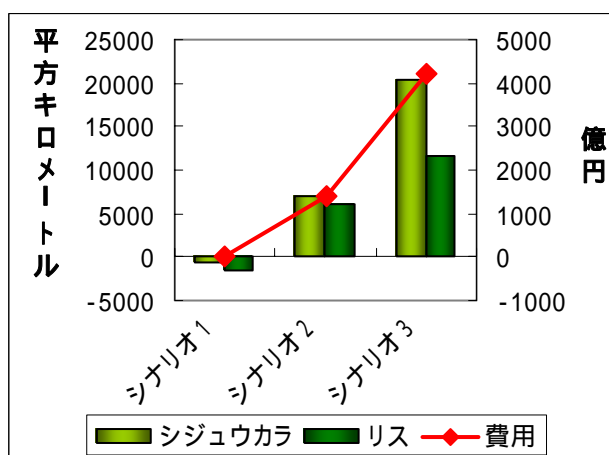


図 3.3.3 施策別の生息適地面積変化と掛かる費用

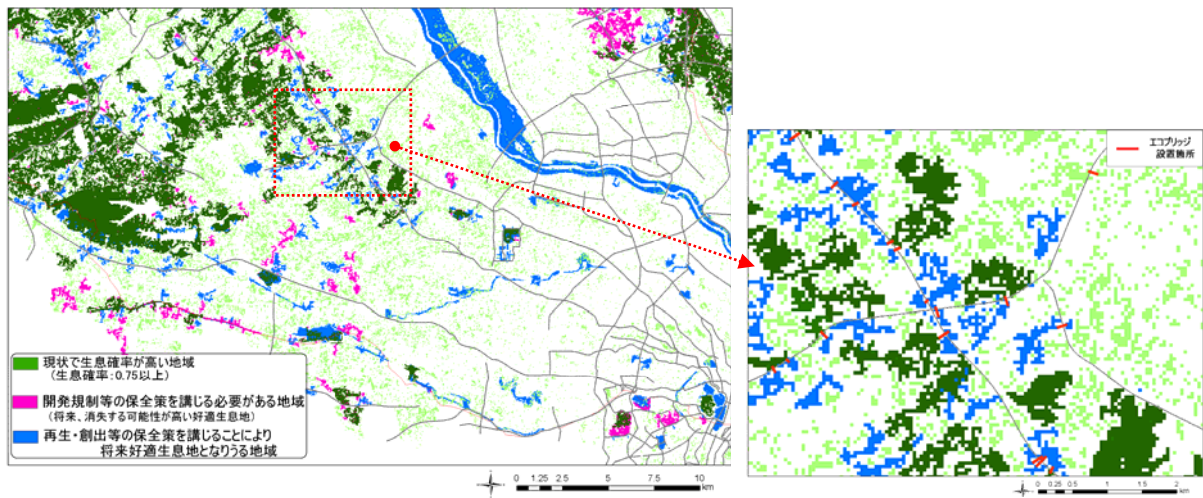


図 3.3.4 エコロジカル・ネットワーク計画検討図（中域レベル）およびエコブリッジ設置箇所

(2) アドバンスドテレメトリシステム

アドバンスドテレメトリシステム（以下、ATS）とは、対象動物に小型発信器を装着し、複数受信局で方向探査することで電波到来角を把握し、三角測量の原理で位置特定を行うシステムである。野生動物の行動追跡を高精度で行えるため、環境アセスメント、自然環境に配慮した事業計画策定等、環境の保全・復元のための活用が期待される。

現在、基本システムの開発が概成し、フィールドで実際の野生動物の行動追跡を行う実証実験を行っている。現地実証実験は五ヶ瀬川水系北川の野地区（宮崎県東臼杵郡の野町）における中型哺乳類（アナグマ）の行動追跡（写真 3.3.1）、信濃川水系千曲川鼠橋地区（長野県埴科郡坂城町）における魚類（ニゴイ）の行動追跡を現在も実施している。

五ヶ瀬川水系北川の野地区における中型哺乳類（アナグマ）の行動追跡

アナグマの追跡データの特徴としては、昼間電波発信機からの電波受信が出来ない状態が続き、夜間に電波受信が起こる傾向があった。これは、既往研究で指摘されるようにアナグマが夜行性行動を示すことを示し、昼間は地中に潜り夜間、調査地内を移動した。その活動範囲は 2 週間で約 1km^2 の範囲を移動した（図 3.3.5）。



写真 3.3.1 捕獲個体（アナグマ）

信濃川水系千曲川鼠橋地区における魚類（ニゴイ）の行動追跡調査地で捕獲したニゴイ 4 匹に発信機を取り付け同時に行動追跡を行った。調査期間 1 週間間にニゴイは 4 匹とも同様の活動範囲（約 3000 m²）を移動し、本流の淵及び瀬の周辺を利用した。今後は、ATS を用いた野生動物（哺乳類、魚類）の行動追跡データを取得し、GIS 等を用いて物理的環境要因が野生動物の行動に与える因果関係を分析する。また、ATS の対象動物（主に鳥類）を拡大し様々な野生動物の行動追跡を行うツールとして開発を進める予定である。

（独立行政法人土木研究所）

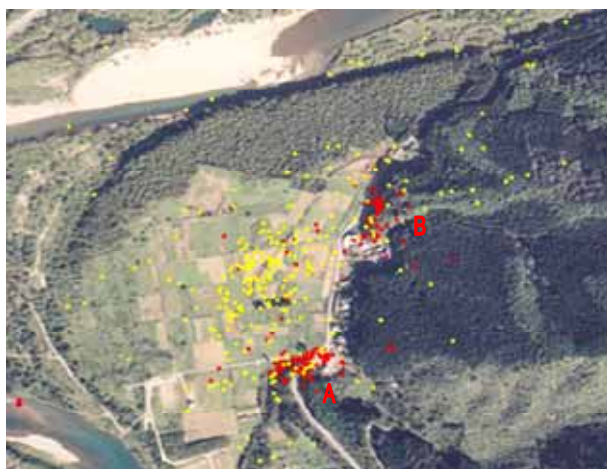


図 3.3.5 ATS による捕獲個体の行動追跡結果

(3)環境保全型農業

(3-1)肥効調節型肥料による負荷削減

環境保全型農業は、農業生態系の持つ物質循環機能を活かすことにより、環境に負荷を与える肥料や農薬の使用を減らしながら生産性の維持・向上を図る、持続的な農業生産体系である。化学肥料・有機質肥料・堆肥などの種類を問わず、農耕地に施用された窒素肥料のうち、作物による吸収や微生物による生化学的な脱窒等により除去されなかった部分は、土壤中を浸透する水によって硝酸イオン(NO_3^-)として地下水へと運ばれる(図 3.3.6)。集約農業の行われている園芸・畑作地帯では、地下水中の硝酸性窒素濃度が 10 mg/L を超える事例が多数報告されており、硝酸性窒素溶脱量をいかにして削減するかが重要な研究課題となっている。

施肥量削減のための有望な技術の一つは、肥効調節型肥料と呼ばれる緩効性肥料の使用である。尿素などの肥料成分をポリオレフィン系樹脂などの難透湿性の材料で被覆すると、

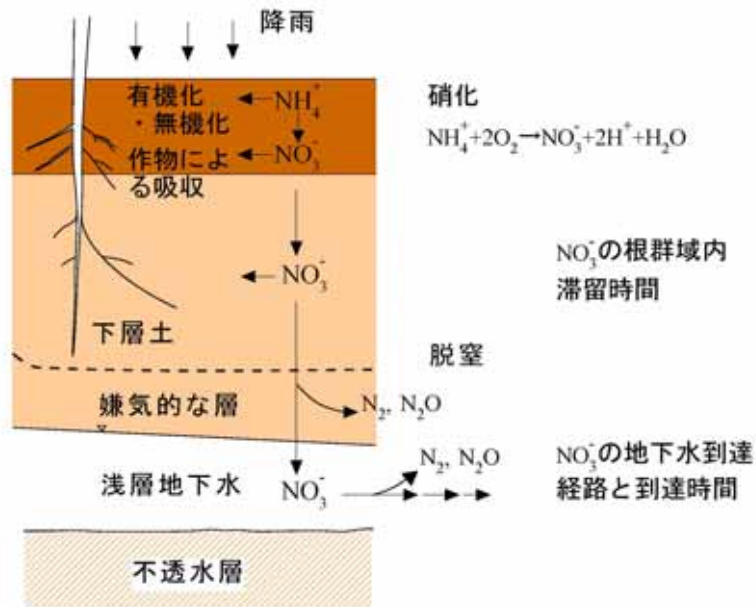


図 3.3.6 土壤断面内の窒素の形態変化と硝酸イオンの移動

成分の溶出を遅らせることができる。作物の生育ステージに応じた窒素吸収速度に見合った溶出特性を示す被覆肥料を用いることにより、作物による肥料の利用効率を高め、施肥量を削減することができる。また、肥料を圃場全面に施用して作土全体に混和するのではなく、作物の根の分布する部分に局所的に施用することによって施肥効率を高めることもできる。施設園芸栽培では、灌水と肥料成分の供給を兼ねた点滴灌漑（養液土耕と呼ばれる）の導入により、肥料成分の流亡を抑制することも試みられている。これらに加えて、土壤診断によって土壤中の養分含量を的確に把握し、過剰な施肥を回避することも重要である。

台地上の畑地と低地の水田からなる地形連鎖系を利用した、硝酸性窒素の除去も有望な方策の一つと考えられている。分子状酸素の不足する嫌気的な条件では、NO₃⁻は微生物による有機物の分解に消費される。台地からの浸透水を水田に導くことにより、溶存するNO₃⁻を脱窒により効率的に除去する試みも行われている。

参考文献

- 1) 西尾道徳（2005）：農業と環境汚染、農山漁村文化協会、東京。
- 2) 農業環境技術研究所編（2004）：農業生態系における炭素と窒素の循環、農業環境研究叢書第15号、農業環境技術研究所。
- 3) 安田 環・越野正義共編（2001）：環境保全と新しい施肥技術、養賢堂、東京。

（農業環境技術総合研究所）

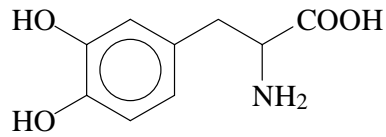
(3-2)天然生理活性物質の病虫害雑草防除への利用

植物が持つ天然生理活性物質が他の生物に、阻害的あるいは促進的な作用を及ぼす作用を他感作用、作用物質を他感物質という。植生遷移や連作障害の要因として知られるが、この作用を病虫害雑草防除へ利用し、自然と共生した農業に利用する試みが広がっている。

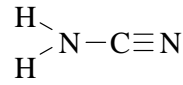
他感作用の強い植物を直接利用して、雑草・植生管理を行うことが可能となってきた。農環研で15年前から研究しているマメ科緑肥作物ムクナは、その葉や根や種子中に、カテコール構造を持つ非タンパク体アミノ酸である L-ドーパ(L-DOPA)(1)を大量に含み、他感作用に関与していることを明らかにした。現在では中央アメリカから南米にかけて、雑草害・土壌侵食を防ぐ緑肥作物として除草剤と化学肥料を減らした農業に利用されている。また、ムクナと近縁のマメ科植物ヘアリーベッチも、農環研で10年以上研究した結果、作用物質としてシアナミド(2)を含むことを世界で初めて明らかにした。ヘアリーベッチは果樹園の下草管理、休耕農地の保全的管理に利用可能であり、全国に広まりつつある。また、日本で縄文時代から畦畔に植えられてきたヒガンバナは、畦畔をネズミや雑草から保護し、飢饉の際には食料となる有用植物として利用していたと思われる。その作用物質としてリコリン(3)を同定した。また、日本在来種リュウノヒゲから、他感物質としてサリチル酸(4)を同定した。これらは雑草に強い被覆植物として利用可能である。また、最近ソバの他感物質としてカテキン等のカテコール構造をもつフラボノイドを同定している。

農環研では、京都大学と共同で、熱帯産雑草ナガボノウルシから、zeylanoxide(5)と命名した新規植物成長阻害物質群を同定した。また、鑑賞用に植栽されるクマツヅラ科のタイワンレンギョウから、新規トリテルペノイドサポニン類を、バラ科ユキヤナギからシス-ケイ皮酸(6)とその誘導体を同定した。一方、既知の化合物でも、植物に対する生理作用が新たに見いだされる事例も増えている。たとえば、ナタマメに含まれる異種アミノ酸のカナバニン(7)は昆虫や植物のアルギニン代謝系を阻害することでアレロパシー発現に関与することを明らかにした。また、乾燥耐性が強いマメ科植物メスキートの葉から、トリプトファン(8)が多量に溶脱して下草に影響を与えることを明らかにした。

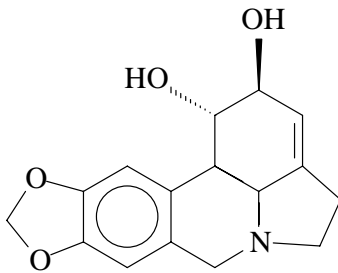
天然生理活性物質が合成化学資材に比べて絶対安全であるとは言えないが、天然物は一般に自然界での分解が早く、生態系に及ぼす影響が少ない。植物由来成分には、例えばインドで伝統的に用いられてきたニームに含まれるアザジラクチンのように、殺虫作用が強



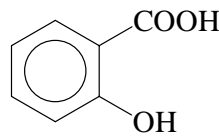
L-DOPA (L-3,4-dihydroxyphenylalanine)(1)
ムクナ(*Mucuna pruriens*)



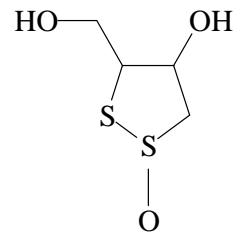
Cyanamide (2)
ヘアリーベッチ(*Vicia villosa*)



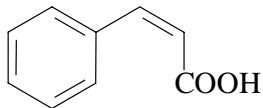
Lycorine (3)
ヒガンバナ
(*Lycoris radiata*)



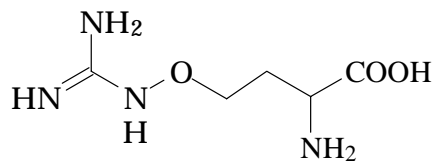
Salicylic acid (4)
リュウノヒゲ
(*Ophiopogon japonicus*)



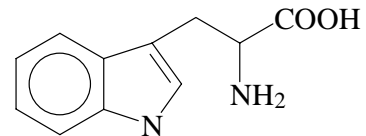
Zeylanoxide-1 (5)
ナガボノウルシ
(*Sphenoclea zeylanica*)



cis-Cinnamic acid (6)
ユキヤナギ
(*Spiraea thunbergii*)



L-Canavanine (7)
ナタマメ
(*Canavalia ensiformis*)



L-Tryptophan (8)
メスキート
(*Prosopis juliflora*)

図 3.3.7 農環研で同定した植物由来の天然生理活性物質

いが、温血動物には安全性が高い優れた生理活性物質が存在する。このような植物に含まれる生理活性物質を研究することにより、自然と共生した生活に役立つと期待される。

参考文献

- 1) 藤井義晴(2002): アレロパシー物質の農業利用、化学と生物、Vol.40、No.2、pp.98-100.
- 2) 藤井義晴(2004): 他感作用の検定法の開発と他感作用候補物質の同定、土肥誌、Vol.75、No.5、pp.557-560.

(農業環境技術総合研究所)

(3-3)循環灌漑による水田からの流出負荷削減のモデル分析

流域における栄養塩負荷管理を行うにあたり、非点源負荷削減対策の重要性が増してきています。非点源の中でも特に水田地帯は張り巡らされた用排水路によって広域的な水の流れをコントロールすることが可能であるという特徴を有しています。そうした水利システムを活用した循環灌漑や排水の反復利用による排出負荷削減対策が提案されています。そこで、水田地帯を対象として循環灌漑による排出負荷削減の効果をモデル分析しました（図 3.3.8）。水田地帯からの排水は排水路へ集水され、その一部は調整池へ導水され灌漑水として再利用されます。モデル分析では排水の循環灌漑率(=100×[調整池への導水量]/[水田地帯からの排水量])と地区からの流出窒素量との関係を分析しました。循環灌漑率が増加すると、水田地帯への流出入量が抑制されるため流入負荷及び流出負荷が減少します（図 3.3.9）。この仮想地区では循環灌漑率が小さい場合は流出負荷が流入負荷を上回りますが、循環灌漑率が約 45%以上では流出負荷の方が小さくなります。このことは循環灌漑が水田地帯からの負荷削減に大きく貢献できる可能性を示すものです。

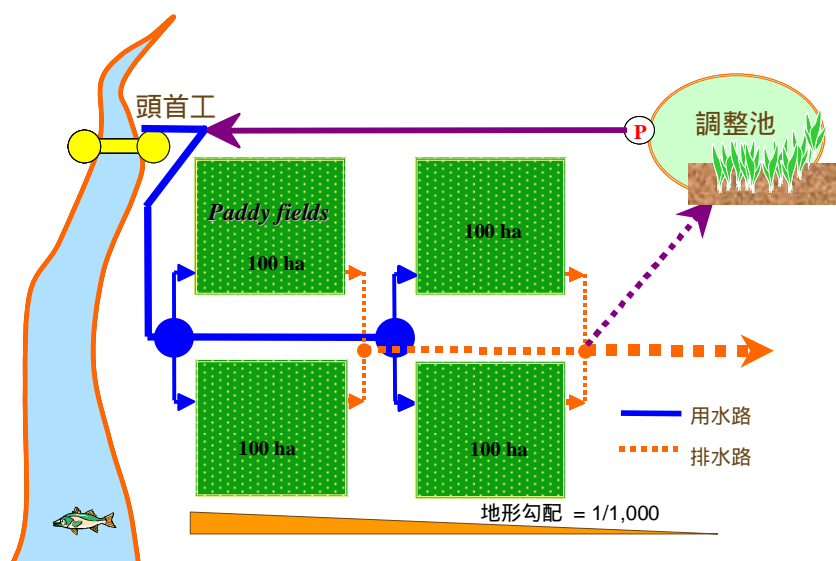


図 3.3.8 分析のモデル地区

参考文献

- 1) Shiratani E., Yoshinaga I., Feng Y. W. and Hasebe H.(2004): Scenario Analysis for Reduction of Effluent Load from an Agricultural Area by Recycling the Run-off Water, Water Science and Technology, Vol.49, No.3, pp. 55-62.

(農業工学研究所)

(3-4)水田生物多様性の再生技術としての冬期湛水

灌漑によって広大な一時的水域を創出する水田は日本最大のウエットランドと考えられ、様々な水生・湿生の動植物が利用する生息環境として重要である。しかし、土地改良による乾田化や雑草や病害虫に対する化学的防除の普及による作物の生産性向上を目指した稲作環境の近代化に伴い、近年の水田ではかつての生物の賑わいが減少しつつある。例えば、関東各都県のレッドデータブックには水田に出現する 25 科 49 種の湿生植物が絶滅危惧種として挙げられている¹⁾。

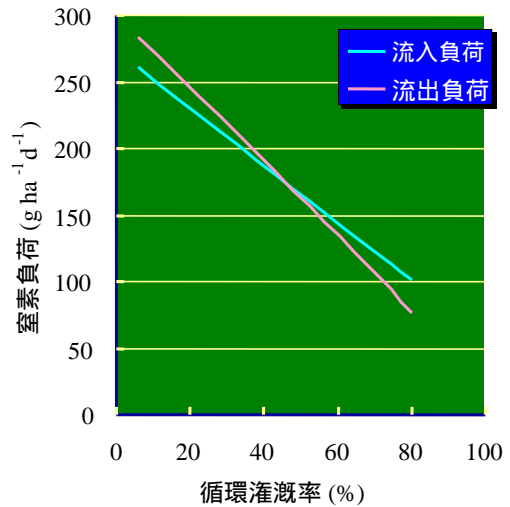
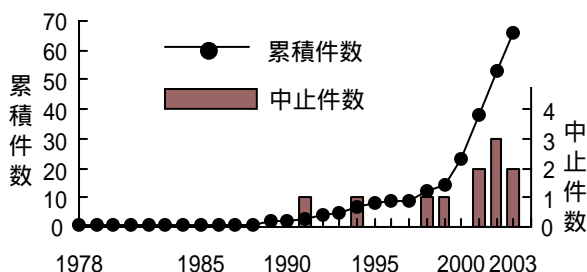


図 3.3.9 循環灌漑率と水田地域における窒素負荷の関係

こうした背景下で、近年、作付けのない時期の乾田に意図的に湛水することによって湿地環境を創出し、生物保全機能など多面的機能の発揮をねらいとした「冬期湛水」の試みが各地で広がりつつあり、現在では少なくとも22県128ha以上の水田で実施されている(図 3.3.10)²⁾。冬期湛水田は、ガン類やハクチョウ類などの水鳥が休息や採食場所として貢献することに加え、早春に産卵するアカガエル類にも利用されるなど、生物多様性向上への寄与が報告されている³⁾。実施主体へのアンケートの結果、冬期湛水は不耕起栽培と組み合わせることによって、イトミミズ増加による雑草抑制効果を期待した有機無農薬栽培技術として展開している事例が多く見受けられた(図 3.3.11)。従って、冬期湛水に加え



て環境保全型の栽培体系が水田生物多様性を相乗

図 3.3.10 アンケート集計による冬期湛水実施件数の推移²⁾

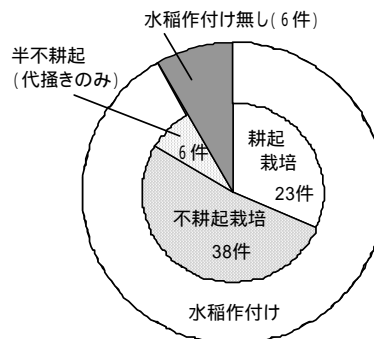


図 3.3.11 冬期湛水田の作付け状況²⁾

的に高めていると考えられる。雑草抑制についても一部の春雑草に関しては抑制効果が認められるものの、無農薬下ではクログワイやアシカキなど湿生植物が増加する事例⁴⁾が示され、湿生の希少植物にとっての避難場所(refugia)ともなりうる。またアンケートから、生物保全に配慮した事例では、対象種によって冬期の湛水深が異なることが示された。例えば、オオヒシクイの保全ではハクチョウやカモ類と比較して浅い水深に調整する必要がある(表 3.3.1)。

水田生物多様性の再生技術として期待される冬期湛水には、営農上の克服すべき課題も多い。冬季の水源確保が難しく取水コストが高まること、地耐力の低下、作業効率性の悪化なども指摘される。さらに乾田に対応する生物もいることから、地域ごとの固有性に基づく生物相を把握した上で、生物多様性を効果的に高めるような水田の規模や配置の検討も必要である。例えば、湿田生態系の再生を目指すならば、かつての湿田の分布と希少生物の集中分布域を地図化⁵⁾(図 3.3.12)

し、全国規模で冬期湛水の適地を推定することなどが挙げられる。

表 3.3.1 目的別の冬期の水深²⁾

目的	件数	平均水深 ± S.D.(cm)	
抑草効果	22	12 ± 4	
土壌改善効果	11	8 ± 6	
冬鳥などの保全	ハクチョウ・カモ	4	9 ± 1
	ヒシクイ	4	1 ± 1
	マナヅル	1	8
	コウノトリ	2	16 ± 2
	トキ	1	15

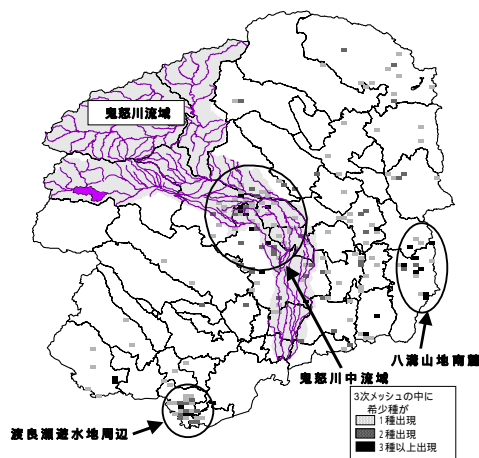


図 3.3.12 栃木県で試行した標本データによる水田希少植物の分布推定⁵⁾

参考文献

- 1) 嶺田拓也 (2004): 水田耕作を利用する植物たちの多様性 - 農耕依存と雑草生のはざま -、琵琶湖研究所報、Vol.21、pp.123-130.
- 2) 嶺田拓也・栗田英治・石田憲治 (2004): 水田冬期営農効果と多面的機能、農村計画論文集、Vol.6、pp.61-66.
- 3) 岩淵成紀(2003): 湛水における冬期湛水水田の意義と活用 - 生態系を維持しながら生産性を支える循環型技術 -、農村と環境、Vol.19、pp.50-59.
- 4) 嶺田拓也・石田憲治 (2004): 水田の冬期湛水に見られる雑草抑制効果について、雑草研究、Vol.49 (別)、pp.232-233.

5) 嶺田拓也・石田憲治・飯嶋孝史(2004): 博物館情報を利用した GIS による水田希少植物の分布特性の把握、農村計画学会誌、Vol.23、No.3、pp.219-226.

(農業工学研究所)

(4)里山における生態系の機能の再生・向上技術の開発 - 生態学的知見を基にした現代の里山更新技術の提案 -

利用管理の消失とともに変容する里山林

里山は、人が利用することにより維持されてきたランドスケープであり、農地や市街地と山岳地の緩衝地帯として、流域圏において重要な位置を占めてきた。近年、伝統的な資源利用が急速に消滅する中で、その機能や、生態系としての健全性が変質しつつある。国土の2～3割という広大な面積を占める里山林が今後も健全に維持されていくためには、伝統的な利用に変わる何らかの管理が必要である。

伝統的な里山林の典型であるコナラが優占する薪炭林は、通常15～20年周期で伐採し利用され、萌芽更新により維持されてきた。しかし、本課題による調査から、コナラは幹の直径が30cmを越える頃から萌芽能力が低下し、伐採後枯死する個体が増えることが明らかになった。放置され太く成長した現在の里山林では、萌芽更新施業の適用が難しくなりつつあると考えられる。したがって、今後は下種更新(種子=ドングリによる更新)に頼ることになる。一方、短周期で伐採を繰り返せば、萌芽更新ばかりでなく種子更新の機会が増すことも、本研究より明らかになった。コナラは際立って若いうちから種子を着け始めるため、短周期伐採下でも種子更新が可能な数少ない高木種なのである。

新たな更新技術の提案

太くなると萌芽しにくくなる、一方、極めて若いうちから種子を着けるといふ、今回新たに明らかになった情報をもとに、今後の里山コナラ林の更新手法を考えると、図3.3.13のような方向が浮かび上がってくる。

- ・ 若いコナラ林 30年生程度以下であろう には、萌芽が期待できるので萌芽更新させる。
- ・ より成長したコナラ林では下種更新を図る。
 - 数年後に十分なコナラの実生が生育していれば、成林させる。
 - 実生が不十分であれば、数年～10年間隔で伐採を繰り返し、萌芽からの下種更新により、コナラの混交率を高めていく。

これは暫定的な提案であり、施業技術としてはまだ実証されていない。さらに、コナラ林の当面の管理方法としては、そのまま温存して高齢で大径な森林に誘導するという選択もある。しかしその場合は、「ナラ類の集団枯損」などにより健全性が損なわれるリスクが考えられ、そのことの今後の評価が必要である。

(森林総合研究所)

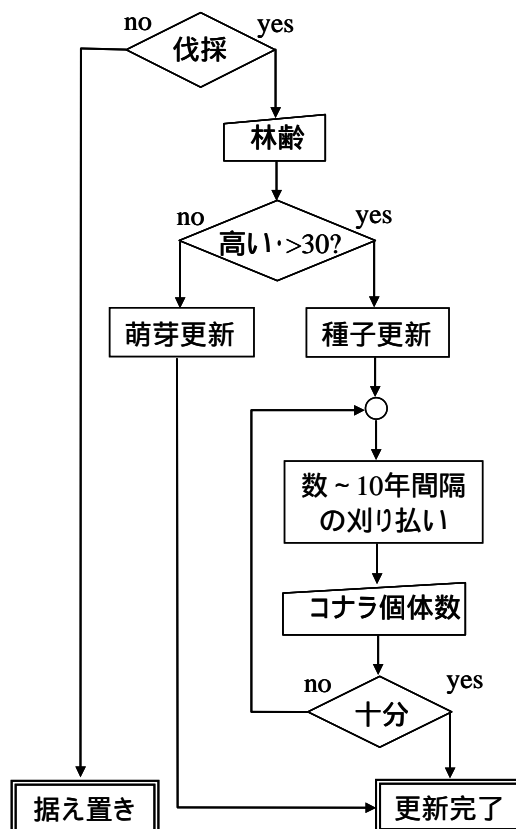


図 3.3.13 種子更新と萌芽更新の特性より示唆されるコナラ林の更新体系 (案)

(5)水田魚道と水田水利システムのエコネットワーク化

河川下流の低平地に発達した水田は、昔からコイ、ナマズ、フナ、ドジョウ、メダカなど、日本人になじみ深い魚類の産卵・生息場所であった。しかし、近年の圃場整備事業では、特に畑地としての役割をも求められるようになり、水はけを良くするために排水路を深く掘り下げるようになった。このため、これらの魚類が水田に遡上できなくなり、水路のコンクリート化とあいまって、メダカが絶滅危惧種に指定されるまでに減少し、またナマズへの影響も懸念されている。

水田への遡上対策として図 3.3.14 の水田魚道¹⁾が試みられた。この魚道によって、小型の

メダカから大型のコイ・ナマズまで上記5種の外、アユ、モツゴ、モロコ類や、ヨシノボリ、ヌマチチブなどハゼ類の遡上も確認された。その後、水田魚道の試みは全国的な広がりを見せ、栃木、宮城、兵庫、滋賀その他各県で適用されてきている。写真 3.3.2 は滋賀県での試験例²⁾で、水田脇の排水路水位を少しずつセキ上げることによって、魚類の水田への遡上を助ける方法である。かんがい期間中は漏水防止の役割を持ち、非かんがい期にセキ板を取り払って水路の水位を下げる事ができる着脱可能な簡易な魚道とすることで、地元農家・住民による手作りも可能である。

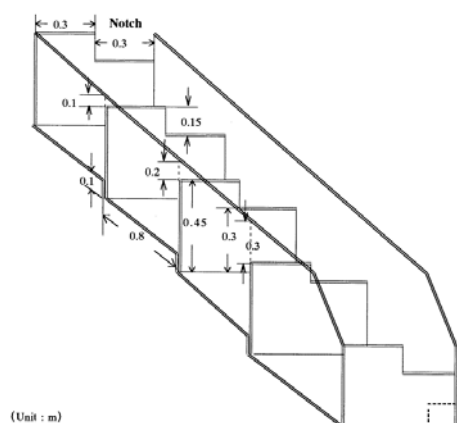


図 3.3.14 水田魚道



写真 3.3.2 排水路をセキ上げした簡易魚道（琵琶湖畔の試験池）

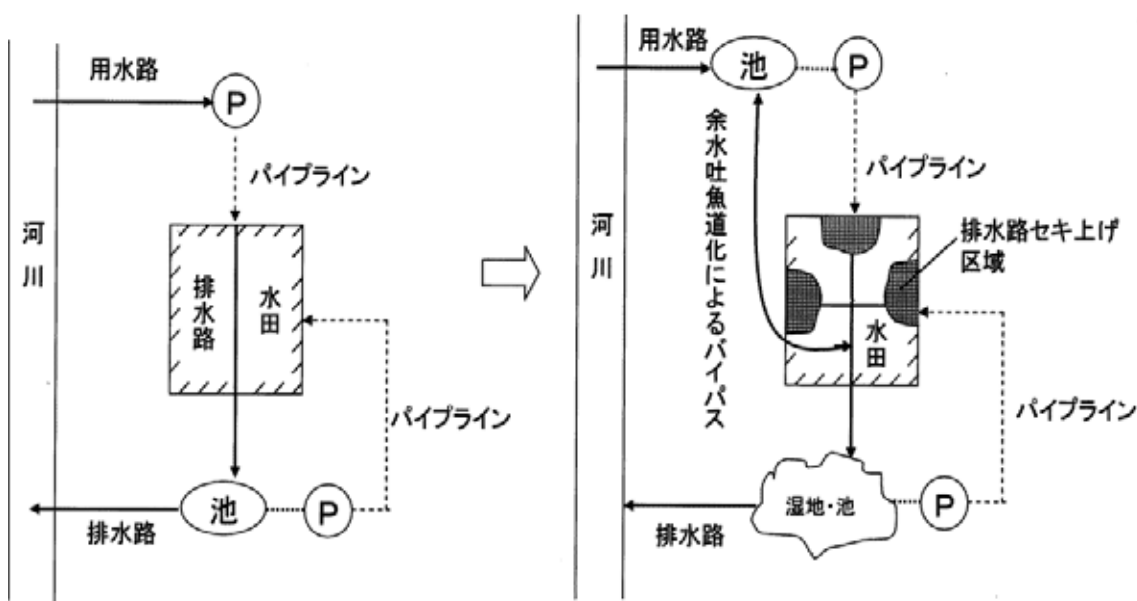


図 3.3.15 新たなエコネットワークのイメージ - 断点解消・湿地造成・排水セキ上げの例