Change of biodiversity by restoration practices in the terraced paddy fields which were not managed for many years

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Nakamura, Koji メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00034706

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

長期間放置されていた棚田の復元に伴う生物多様性の変化

18580328

平成 18 年度～平成 19 年度科学研究費補助金

（基盤研究(C)）研究成果報告書

平成 20 年 5 月

研究代表者　中　村　浩　二

金沢大学環日本海域環境研究センター教授

金沢大学附属図書館

1300-05199-X

＜はしがき＞

日本政府は，『新・生物多様性国家戦略』（2002.3）を発表し，我が国の生物多様性の現状と問題点を「３つの危機」として整理した．その第２の危機として，里山は農林業活動により，高い生物多様性が維持されてきたが，近年の農林業の衰退，過疎・高齢化等により適切に管理されなくなっていることをあげており，棚田の放棄や休耕田の増加はその具体例である．本研究代表者らは，金沢大学角間キャンパス「里山ゾーン」内の25年にわたり放棄されていた棚田跡において，2002年から2005年まで，復元を段階的に実施しながら，動植物の種類相，種ごとの個体数，開花植物と訪花昆虫の関係等を，春から秋まで総合的にモニタリングしてきた．２年間（2006～2007）の本申請課題では，さらに復元を進めながら変化をモニタリングした．すなわち，棚田枚数を増やすとともに，管理を強化（これまでは水田雑草の除去は行わず，畦や周囲の草刈りも最小限にしていた）しながら，棚田内と周囲の植物，地表歩行性昆虫や小動物，土壌動物，イネと畦の昆虫・クモ類等，開花植物と訪花昆虫，飛翔性昆虫類の種類相，両生類，は虫類，訪問する鳥類等の種ごとの個体，それらの季節変化を研究した．また，キャンパス周辺，珠洲市，能美市等の棚田，水田でも比較調査を行った．本報文では，水田内の節足動物の変化を中心に報告し，落とし穴トラップとウィンドウトラップによる調査結果については，概要のみを示した．

研究組織

研究代表者：中村浩二（金沢大学環日本海域環境研究センター教授）
研究分担者：田崎和江（金沢大学自然科学研究科教授）
研究代表者：木下栄一郎（金沢大学環日本海域環境研究センター准教授）
研究代表者：夏原由博（京都大学地球環境研究学堂教授）
研究代表者：笠木哲也（金沢大学環日本海域環境研究センター非常勤研究員）

交付決定額（配分額）　（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
平成18年度	2,300,000	0	2,300,000
平成19年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総　計	3,500,000	360,000	3,860,000

著　者　寄贈

研究発表

（1）　雑誌論文

Daisuke Utsunomiya and Koji Nakamura (2006) Effects of anthropogenic disturbances on the flowering plant - insect pollinator system in Kanazawa Castle Park, Kanazawa, Japan. Far Eastern entomologist 162:1-24.

Linawati, Shin-Ichi Tanabe, Atsushi Ohwaki, Daisuke Akaishi, Ramadani Eka Putra, Indah Trisnawati, Ida kinasih, Chikako Kikuchi, Tetsuya Kasagi, Sizuko Nagashima and Koji Nakamura (2006) Effects of red-pine forest management for mushroom cultivation on ground, below- and above-ground invertebrates in Suzu, Central Japan. Far Eastern entomologist 166: 1-15.

Atsushi Ohwaki, Koji Nakamura and Shin-ichi Tanabe (2007) Butterfly assemblages in a traditional agricultural landscape: Importance of secondary forests for conserving diversity, life history specialists and endemics. Biodiversity and Conservation 16: 1521-1539.

Indah Trisnawati and Koji Nakamura (2008)Abundance, diversity and distribution of above-ground arthropods collected by window traps from satoyama in Kanzawa Japan: an order level analysis. Far Eastern entomologist 181: 1-23.

木村一也・田辺慎一・中村浩二（2006）角間丘陵における出現樹種と夕戦術のサイズ構成．金沢大学自然計測応用研究センター年報 5:　118-119.（Tree species and size distribution of dominat tree species in a secondary fourest of Kakuma Hill）

（2）　学会発表

Nakamura, K., Long-term monitoring and restoration of biodiversity in Satoyama, International Conference on Ecological Restoration in East Asia, 2006.6.16 -18, Osaka, Japan.

Putra, R. E., Nakmaura, K., Effect of Satoyama paddy fields restoration on local pollination, International Conference on Ecological Restoration in East Asia, 2006.6.16 -18, Osaka, Japan.

Linawati, Nakmaura, K., Diversity and structure of ground beetles in restored

and non-restored areas of satoyama in Kanazawa, Japan, International Conference on Ecological Restoration in East Asia, 2006.6.16 -18, Osaka, Japan.

Utsunomiya, D., Nakmaura, K., Pollination system in Satoyama forest, International Conference on Ecological Restoration in East Asia, 2006.6.16 -18, Osaka, Japan.

Nakamura, K., Long-term monitoring and restoration of biodiversity in Satoyama, International Conference on "Forest ecosystems of Northeast Asia and its Dynamics",, 2006.8.22-26, Vladivostok, Russia.

宇都宮大輔・中村浩二・笠木哲也・小路晋作・赤石大輔・木村一也. 能登にトキを呼び戻すための生態基盤整備と住民合意形成. 日本生態学会第55回大会, 2008.3.14, 福岡.

宇都宮大輔・小路晋作・赤石大輔・木村一也・井下田寛・笠木哲也・中村浩二. 能登におけるトキ再生と里山の生物多様性保全. 日本生態学会第55回大会, 2008.3.16, 福岡.

中村浩二. 生物多様性を活かした地域活性化：環境配慮型農業の担い手育成を目指して. 第５２回日本応用動物昆虫学会大会, 2008.3.27, 宇都宮市.

（３） 図書

S.-I. TANABE, S.K. KHOLIN, Y.-B. CHO, S.-I. HIRAMATSU, A. OHWAKI, S. KOJI, A. HIGUCHI, S.Y. STOROZHENKO, S. NISHIHARA, K. ESAKI, K. KIMURA, K. NAKAMURA (2007) A Higher-Taxon Approach with Soil Invertebrates to Assessing Habitat Diversity in East Asian Rural Landscapes. In: S.-K. Hong, N. Nakagoshi, B.J. Fu and Y. Morimoto (Eds.), *"Landscape Ecological Applications in Man-Influenced Areas: Linking Man and Nature Systems"*, 163-177. Springer, The Netherlands. 535 pp.

Koji Nakamura, Shinichi Tanabe, Kazuya Kimura, Tetsuya Kasagi, Daisuke Utsunomiya, Atsushi Ohwaki, Daisuke Akaishi, Kenta Takada, Linawati, Ramadhan Eka putra, Shinsaku Koji, Akinori Nakamura, Kyosuke Okawara, Eiichiro Kinoshita (2006) Biodiversity in Satoyama: monitoring, assessment and conservation in the Pan-Japan Sea area. In: Kazuichi Hayakawa et al. (eds) *"Past, present and future environments of Pan-Japan Sea Region"*. 510-546. Maruzen. 605 pp.

中村浩二 (2007.3) 崩壊する里山！里山再生への私たちの取り組み. 日本海学推進機構（編）『日本海学の新世紀７ つながる環境 海・里・山』, 95-107. 角川学芸出版. 250 pp.

研究成果による産業財産権の出願・取得状況

なし

（研究１）石川県内の水田の立地条件、保全作業、農法が節足動物群集に及ぼす影響　研究協力者：菊池知子，小路晋作.

摘要

はじめに

里山は農林業によって成立した伝統的農林風景であり(田端,1997)、「二次的自然」である(守山,1997)。日本の里山の生物多様性は高く、固有性に富むが(鷲谷,1999)、第二次世界大戦後、生産向上のために害虫をできるだけ駆除する慣行農法が主流となり、生物多様性は急速に低下した。近年、害虫のみならず水田全体の生物管理をめざす「総合的生物多様性管理」(IBM)を念頭においた持続可能な農法が注目され始めている。また、水田生態系の生物多様性の保持には、水田内だけでなく畦畔や周辺農地、雑木林などを含めた管理が必要である。本研究では、景観要素を含めた水田づくりの農法や保全作業が節足動物の生物多様性に及ぼす影響を検討した。

材料・方法

金沢大学角間キャンパス内の北谷に復元した水田(2004～2006 年)と能美市、白山市等の一般水田を含む合計 7 地点(2006 年)において調査した。採集には「叩き落し法」と「覆い法」を用いた。

結果・考察

北谷の復元水田：2004 年は 17 目 4993 個体、2005 年は 13 目 2508 個体、2006 年は 12 目 2171 個体が採集された。植食者であるイネミズゾウムシは 2004～2005 年にかけて個体数が 5 倍に増加した。捕食者ギルドの個体数・割合は 3 年間で有意に増加した。クモ類は、2004 年 10 科 38 種 875 個体、2005 年 10 科 42 種 1078 個体、2006 年は 11 科 38 種 700 個体採集され、優占目であった。クモ類のうち、75 種中 12 種は 3 年間連続して増加し、1 種は減少し続けた。この増加した 12 種のうち 8 種は一般水田でも確認された種であった。これらの種は水田に広分布する種であり、北谷に移入後、繁殖して増加したと考えられた。クモ類の種組成は，2004～2006 年にかけて年ごとに異なっていた(DCA 解析)。

一般水田：12 科 71 種 4234 個体のクモ目が採集された。クモ類の類似度（Sorensen 一致係数 QS）を，「慣行農法で栽培された別地域の水田間」と「同じ地域内で異なる農法で栽培された水田間」で比較したところ，前者より後者の方が高かった（0.6±0.05 vs 0.7±0.07)。調査した水田の周囲 1km にある畑地面積とクモの種類と個体数には正の相関があり、畔の草刈頻度とは負の相関（$P<0.01$)があった。従って、クモ類の種数と個体数は水田内の環境だけでなく、繁殖場所や水稲栽培期における避難地として利用される畔や畑地の有無にも影響されることがわかった。北谷の復元水田のクモ相の比較：北谷のクモ相の多様度(Shannon-Weiner 多様度指数)は、2004 年 1.98、2005 年 2.27、2006 年 2.28 で 3 年間には大きな変化はなかったが、毎年増加した。現在，北谷のクモ相は，一般水田と異なり独自の種構成を有するが，今後だんだんと一般水田にみられる種が増加し続けると思われる。

目次

1. はじめに …[1]
2. 目的 …[2]
3. 材料と方法 …[3]
(1)調査地
1.北谷(金沢大学角間キャンパス内の復元棚田,有機農法)
2.石川県各地の生産圃場
(2)調査方法
1. 北谷
(1)温度・湿度
(2)イネの季節成長(分げつ株数、高さ、葉緑素量)
(3)昆虫
2. 石川県各地の生産圃場
(1)畦の植生調査
(2)農法アンケート
(3)昆虫
(3)解析方法(多様度・類似度)
4. 結果 …[6]
1. 北谷
(1) 気象条件
(2) イネの成長
(3) 昆虫及びクモ
2. 石川県各地の生産圃場におけるクモ類の比較
①科および種の構成、種数、個体数
②農管理法間の比較
③地域間の比較
④他の農管理法の比較
⑤畦植生との比較
⑥景観とクモ相の関係
3. 復元棚田と生産圃場の比較
5. 考察 …[13]

○図の説明
○図表

1. はじめに

(1)里山の水田が生物多様性の保全に果す役割

里山は、人間の生産活動である農林業によって成立した伝統的農林風景である。また、人間の手によって管理された自然、すなわち「二次的自然」である。その範囲は、森林だけでなく農地も含めたランドスケープであり、集落、水田、森林など複合的な土地利用や、植生の集合を含む地域のまとまりである。

里山に生息する生物は、様々な環境を複合的に利用しながら生活史を完結しているものが多い(守山,1997)。なかでも水田は、生物の繁殖場所、摂食場所となっており、他の水域と同様に重要な役割を果している。生物の生活史の完了には、繁殖、摂食以外に越冬場所、避難場所等の様々なパッチが近辺に存在する必要があるが、里山の水田周辺には、通常自然植生が残っており、生物の生活史完了に必要な条件を満たしている(桐谷,2004)。里山の昆虫には、トンボやゲンゴロウなど水田に生息場所を特化した種も少なくない。捕虫網を用いた掬い採り法による水田内生物調査では、13 目 134 科 450 種以上の昆虫が採集された(小林ら,1973,1974)。以上のことからも、里山の水田における生物多様性維持能力は極めて高いといえる。

(2)里山における水田の現状

古来から日本の水田環境には、湿地性の動植物が数多く生息し、独自で多様な生物相が維持されてきた。しかし、1950 年代の社会経済的な変化の影響を受けて、水田環境は劇的に変化した。それまでは、イネを害虫から守るという、「植物保護の時代」であり、積極的に病害虫を退治する姿勢は乏しかったので、水田内の生物多様性が保持されていた。しかし、生産性向上を目的として積極的に害虫駆除する「攻めの姿勢の農法」(いわゆる慣行農法)への移行により農薬や化学合成肥料が多用されるようになった。その結果、害虫の薬剤抵抗性の発達や食品や環境への農薬残留などの問題が浮上した。同時に、農作業の効率化のために基盤整備が進み、ため池の消失、水田の乾田化なども起こった。さらに、1970 年代以降、過疎化や高齢化が急速に進み、水田が次々に放棄された。このような水田を取り巻く環境の激変により、水田に豊富に生息した多くの動植物が、今日絶滅の危惧されるようになり、トキやメダカやメダカなど水田生物相はすでに絶滅の危機に瀕している。

この反省から、農薬や化学肥料の使用をひかえる、いわゆる「環境配慮型農法」が注目されつつある。放棄された水田環境の復元による、希少水田生物相の保全についても議論されつつある。しかし、「環境配慮型農法」や、放棄された水田環境の復元が、生物相に及ぼす影響は、ほとんど分かっていない。従って、本研究では、石川県各地の「環境配慮型農法」や従来通りに農薬や肥料を施行する農法の「慣行農法」水田において節足動物群集を調査比較して、農法によるイネ植物体上に生息する生物群集に及ぼす影響を調べた。

(3)指標生物としてのクモ相

本研究では、以下の3点の理由からクモ目に着目した。第1に、日本の国土は四季の気温差が大きく、また気候と地形との変化に富むため、クモも亜寒帯性のものから、亜熱帯性のもの、さらに熱帯のものまでを含み、種数、個体数も他国と比較して豊富であることである。第2に日本に生息しているクモは現在1000種あまりが記録されているが、クモ類の多くの種はバルーニングにより移動するので、広範囲に分布し、色々な環境に出現することである(新海,1998)。

第3に、クモ類のほとんどはジェネラリスト捕食者であり、クモ類全体を均一機能群とみなすことができ、種数や密度の測定から、水田生物群集のバイオマス量の評価が可能である。従って、クモ各種の生息環境や適応環境を検討し、復元棚田の復元に伴う、環境変化に応じたクモ種の変化から、水田の環境状態や棚田復元の生物相の影響を総合的に判断できると考え、クモ類に焦点をあてて調査を行った。

(4)有機農法について

現在、日本の環境配慮型農法には、有機農法を含めて多様なものが含まれる。慣行農法であれ、有機農法であれ、除草の仕方や頻度、殺虫剤、除草剤の散布回数や散布方法、合鴨農法の採否など、色々なやり方がある。また、環境配慮型農法をはじめ、色々な農法の違いが、生物多様性に及ぼす影響を定量的に、長期的に調査した例はほとんどない。そこで本研究では、石川県各地の農家に農法アンケート(後述)を配布し、実際に行われている水田農法を把握し、それを元にして各水田の農法の位置付けを行うとともに、農管理法の異なる水田の昆虫相を比較した。

2. 目的

農管理法や保全作業、立地条件がクモ類を中心とした生物多様性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

3. 材料と方法

(1) 調査地

金沢大学角間キャンパス内の北谷にある棚田復元地(2004～2006 年)と石川県各地の生産圃場において調査した(2006 年のみ)。これらの水田の特性、農管理法は表 1 にまとめた。

1. 北谷(K4～K16)：2004 年～2006 年まで 7 水田で調査をした(図 1,2,3)。北谷は、2002 年から棚田復元作業が進行中であり、2006 年には 14 水田が有機農法によって管理されている。
2. 石川県各地の生産圃場は復元棚田の比較対照及び、農法、景観の影響をみるため、石川県の能美市、白山市の 6 地域において、景観や農管理法が異なる生産圃場水田合計 38 水田選びだし、クモ類の採集を行った。

①能美市辰口：5 水田(RA～RE)で調査した(図 4)。
②能美市岩内：8 水田(IA～ID、 IH～II)で調査をした(図 4)。
③能美市莇生：4 水田(AA～AD)で調査をした(図 4)。
④白山市渡津：4 水田(WB～WE)で調査をした(図 4)。
⑤白山市瀬木野：4 水田(SA～SI)で調査をした(図 4)。
⑥白山市白山町：6 水田(HA～HI)で調査をした(図 4)。

(2) 調査方法

1. 北谷

(1)温度・湿度

北谷における経年変化に伴う昆虫相の変化と湿度・温度との関係を調べるため、2004～2006 年に、温湿ロガー(TMS-70)3 台を設置し、温度と湿度を測定した。

(2)イネの季節成長(分げつ株数、高さ、葉緑素量)

イネの季節生長を記録するために、イネの丈高、分げつ、葉緑素を株単位で測定した。葉緑素量はコニカミノルタ葉緑素計 SPAD-502 を用いて、イネの葉の先端から約 5cm の部位を 1 株あたり合計 5 葉、節足動物を採集した同日に、測定した。また、イネの品種ごとで成長に差があるため、2004 年には、「新大正もち」、「かぐらもち」、「赤米」を栽培したが、2005、2006 年に植えた「新大正もち」の水田(水田番号 11、14、16)の結果のみ用いた。

(3)昆虫

①採集株の決定方法

2004 年：各水田内のイネ株数の 1/10 株を調査した。いくつかの水田では、労力の関係で、株数の 1/20 を抽出した。また、各調査日には水田の端から 10 株

ごと、または20株ごとに数えていき、同じ株を重複して調査しないようにペグを付けた針金を株のそばに刺して標識した。毎回同じ株から採集することによる生物相の偏りと防ぐために調査ごとに株を1株ずらして採集した。

2005年、2006年： 水田内のイネ株をランダムに水田あたり10株選び採集した。

②採集方法

2004 年～2006 年にはチリトリを用いた「叩き落とし法」によって水田内の昆虫を採集した。日鷹一雅氏(1990)による叩き落とし法では採集をする際に飛翔して逃げる分散する個体があるので、2006 年には、直径 20cm、高さ 58.5cm(8月のイネ成長後は直径 23cm、高さ 91cm の筒:強化アクリル板)を作り、上部に網をかけてその穴の中に手が入るぐらいの十字の穴(約 10cm)を開け、叩き落とし採集を行った。これを本文では、「覆い法」とよぶ。

また、叩き落とし法で、採集する前にイネ株を見渡して、見つけた虫を吸虫管を用いて採集したのち(目視採集とよぶ)、チリトリをイネの根本にあてて、イネを叩いて葉上にいる昆虫をチリトリに落として採集した。イネを叩く回数は、イネの成長につれて適宜増やしていったが、6月のイネがまだ繁っていないころは、ほとんど目視法のみで行い、9月のイネが繁ってきた頃は、イネ株の根本、イネ茎の中間、イネ上部で各 15 回イネを軽く叩き、節足動物を採集した。採集した節足動物は、スクリュー管に入れて実験室に持ち帰り、そこで冷凍庫にて殺した後に 70%エタノール液で固定した。採集した節足動物はソーティングをした後、図鑑、文献等を参照し、同定した。

2. 石川県各地の生産圃場

(1) 畦の植生調査

水田の所有者によって畦の管理法は異なり、それが水田の昆虫相に影響を与えていると考えられる。そこで 2006 年には畦の植生を調査を行った。節足動物の採集が終わった 9 月 21 日から各地域から農法が異なる水田を 2 水田選び、水田の端 4 辺について(畦の幅は約 50cm×15m)、植物の種数を記録した。

(2) 農法アンケート

水田管理法に関する農法アンケートは、水田所有者の協力を得て実施した(表 1)。アンケート項目には、農法、水管理、畦管理、肥料、殺虫剤の投入種類、量、時期などをあげた。

(3)昆虫

①採集株の決定方法

各水田あたり水田の周囲4地点と水田の中心部の計5ポイントを選び、1ポイントあたり3株をランダムに選んだ。

②採集方法

「覆い法」により採集した。

(3)解析方法

①多様度の算出

3年間のクモ類の種多様度をShannon-Weiner指数を用いて比較した(木本・武田, 1989)。本指数は、幼体は除いて以下の式を用いて計算した。

$H' = \Sigma - Pi \cdot \ln(Pi)$, Pi：全個体数の中でi種が占める割合(相対優占度)。

②類似度の算出

Sorensenの一致係数QSを用いて比較をした。

$QS = 2c/(a+b)$, aとbには両調査地における種数、cはaとbの共通種数を表す。

4. 結果

1. 北谷

(1)気象条件

北谷の3地点の、気温の季節変化は、年次変化ほぼ同じ傾向を示した(図5)。2004～2006年の間の月平均最高気温は2005年8月26.4℃(No.3)、月平均最低気温は2006年1月0.25℃(No.2)であった。一方は、湿度は同じ年内では各地点間で同傾向であったが、大きな年間差があった。

(2)イネの成長

3年間(2004～2006年)ともイネ成長の季節変化は、ほぼ同じ傾向を示した(図6)。葉緑素と分げつ数は、6月に大幅な上昇を示した後は、大きな変化はなかった。また、分げつ数平均値は、2004年から2006年にかけて、11.8±1.4から8.1±1.2へと低下傾向が見られた。(しかし、有意ではなかった P=0.15,分散分析)。これは連作による土壌中養分の減少が原因であろう。イネ丈の成長は8月下旬の開花時期以降は停止した。

(3)昆虫相及びクモ類

①採集方法の違いによる昆虫相の違い

2006年には「叩き落とし法」と「覆い法」の2種類で採集した。目別の採集個体数は、「覆い法」の方が、クモ目、半翅目、甲虫目、膜翅目、りん翅目などの飛翔性昆虫の密度が高かった(図7)。一方、粘管目の密度は「覆い法」の方が低かった。このことから、「覆い法」は、飛翔昆虫を効率的に採集できる一方、イネ株根本に生息する粘管目の採集には向かないことが分かった。さらに、クモ目は、はたき落としでも十分に採集できたが、覆い法の方が徘徊性のクモの分散を防ぎ、効率的に採集ができた。北谷の昆虫相の年次変化は(2004～2006年)は、「叩き落とし法」の結果のみ用いて解析した。また、北谷と生産圃場との比較(2006年のみ)には覆い法の結果を用いた。

北谷のShannon-Weiner多様度指数は、2004年は1.98、2005年は2.27、2006年は2.28であり、3年間には大きな変化はなかったが、年ごとに増加する傾向した。

②生物相の構成

(ⅰ)目レベル

2004年には17目2193.77個体/500株、2005年は13目2238.39個体/500株、2006年は12目2077.55個体/500株が採集された(図8)。粘管目は2004年には優占目であったが、2005年には減少、2006年には再び増加した。2005年、2006年の優占目はクモ目であった。

(ⅱ)科レベル

半翅目には捕食者と植食者が含まれており、2004 年は 13 科 194.7 個体/420 株、2005 年は 16 科 154 個体/420 株、2006 年は 10 科 164 個体/420 株であり、2004 年から 2006 年までのアブラムシが顕著に減少した(図 9)。一方、捕食者であるアメンボ数が増加した。ウンカの密度は要防除密度(1 葉当たり雌成虫 2～3 頭)を上回ることはなかった。

甲虫目は、2004 年は 13 科 54.7 個体/420 株、2005 年は 13 科 154 個体/420 株、2006 年は 8 科 148.9 個体/420 株であった(図 10)。2005 年はゾウムシ科が 5 倍以上に増加し、ゾウムシ科の個体数の 80%以上をイネミズゾウムシが占めた。本種は 70 年代にカリフォルニアからの移入した種であり、日本では、天敵がまだ確認されていないため、イネ害虫として警戒されている。金沢大学角間キャンパス内の教育学部実験水田では、2004 年 5 月には本種の被害により、田植え直後のイネが壊滅的ダメージを受けたため、田植えを再び行わざるをえなかった。このように角間キャンパス周辺の本種の密度は高いと考えられた。北谷では 2006 年のゾウムシ科全体の密度は 2005 年より低下したが、大きな変化はなかった。ゾウムシ科に占める本種の割合も、大きな変化はなかった。

クモ目と植食者の相互関係を示すために、優占植食者のうち 4 科(アブラムシ上科、ウンカ科、カメムシ科、ゾウムシ科)の個体数の季節変化を 3 年間(2004～2006 年)について示す(図 11)。アブラムシ上科は 6 月のピーク後、密度はなだらかに低下した。ウンカの発生は梅雨期の成虫飛来によって始まり、第一世代から年によっては第三世代まで繁殖する。2006 年には、前 2 年と比較すると低密度であったが、個体数の季節変化からみて、年 2 化性であった。カメムシ科は、6 月下旬と 8 月下旬の 2 ピークを示し、3 年とも同傾向を示した。ゾウムシ科は田植え直後に水田に移入するピークののち、密度が低下しその後、再び 8 月上旬にピークがあった。このことからゾウムシ科の約 8 割を占めるイネミズゾウムシは、年 2 化性と考えられる。また田植え後の第一回目の調査(6 月上旬)におけるゾウムシ科の越冬成虫の移入個体数は 3 年間の調査期間に増加傾向があった。

(ⅲ)クモ類の種構成と個体数

水田に生息するクモの種類は、13 科 70 種以上であると推定されている(小林,1961)。北谷では 3 年間を合計すると 12 科 75 種 2646 個体のクモ目を採集し(表 2)。2004 年は 10 科 38 種 396.27 個体/500 株、2005 年は 10 科 42 種 962.5 個体/500 株、2006 年は 11 科 38 種 697.96 個体/500 株であった。どの年もアシナガグモ科が優占し、クモ目の約 50%を占めた(図 12)。水田が主な生息地であるコモリグモ科は、調査期間中は増加傾向を示した(2004～206 年 0.11%、1.67%、5.85%)。

採集種数には有意な年間差は見られなかったが(P=0.2,一元配置分散分析)、個体数には有意差が見られた(P<0.01 一元配置分散分析)(図 13)。2004 年から 2005 年は有意差があったが(Tukey-HSD test, P<0.05)、2005 年と 2006 年、2004 年と 2006 年は有意

差がなかった。種数には、年間の有意差がなかった。

3年間連続して密度が増加した種は12、連続減少は1種であり、増加した種の方が有意に多かった（$P<0.01$,符号検定)。密度が増減した種と密度に変化のなかった種は62種であった。北谷で連続増加した12種が、他地域の水田でも確認されている種かどうか調べた(表3)。水田選好種の判定は富樫・高(1988)と山野(1977)を用いて比較すると、12種のうち8種は石川県及び京都府の水田で多く捕獲された種であった。セスジアカムネグモ、アシナガグモ、キバラコモリグモなど、石川県の各地や京都府の水田で多く採集された種が北谷で増加したが、北谷で増加傾向したものには3種(ヤリグモ、タイリクアリグモ、ヤハズハエトリグモ sp)あった。なかでも、ヤリグモは、里山から山地にかけて生息するクモで、クサグモ、サラグモ、ヒメグモ、ジョロウグモを襲うとされている(新海,1998)。

2004～2006年に採集されたクモ種のDCA解析をした結果、2004年と2005年は第1軸で、2004年、2005年と2006年が第2軸で分かれた(図14(a),(b)、表4)。第1軸は、2006年は2004年と2005年の間の類似性を示した。種ごとにみると、水田特有種が集まる傾向や、科ごとにまとまる傾向はなかった。

③ギルド(捕食者、植食者、その他)の割合の変化

水田に生息する生物は実に多様であり、捕虫網を用いた掬い採り法により、13目134科450種以上の昆虫が採集されだ(小林ら,1973,1974)。IBMでは、水田の生物群集をイネの視点からみて「害虫」「益虫」、「ただの虫」に分類する(宇根,1989)。クモは害虫が大発生する前に集中的に捕食することで、害虫の個体数を押さえる益虫であるが、クモには、害虫のいない期間にも餌が必要である。「ただの虫」はその餌となる点で重要性である(宇根,1989, 日鷹,1990)。植食者密度が低い時期の代替餌としての「ただの虫」の役割も指摘されている(Way and Heong, 1994)。代替餌が多い水田ではクモや捕食者の密度が高いといわれている(日鷹, 1990 ,Settle et al.,1996)。本研究でも北谷で採集された昆虫を捕食者、イネ植食者、その他の節足動物の3カテゴリーに分類し、棚田復元後の経年変化をみた。各カテゴリーの昆虫相は以下の通りである。

イネ植食者‥イネの生育に直接的被害を及ぼすと考えられる植食者。

捕食者‥イネ植食者やその他の節足動物の捕食者。

その他の節足動物‥イネ植食者、捕食者以外の昆虫、分解者。

2004～2006年にかけて捕食者の個体数とその割合は、有意に増加した(個体 $P<0.01$,:割合 $P=0.01$,Kruskal-Wallis検定)(図15)。イネ植食者の個体数、割合には、有意な年次変化による増加はなかった。その他の節足動物の個体数と割合はどちらも減少傾向であった。(割合は有意に減少した, $P=0.01$,同検定)。

④クモ目の季節変化

クモ目は、7月から密度が増加し、8月終わりにピークとなる傾向を3年とも示した(図16)。さらに優占4種の季節変化を詳しくみたところ、ウエノフクログモは2004～2006年まで、毎年7月中旬に出現し、8月下旬にピークとなった(図17)。ヤサガタアシナガグモは、2004年は2化性ではなかったが、2005年、2006年は2化性を示した。スジブトハシリグモは8月中旬から増加した。キバラコモリグモは、2004年には採集されなかったが、2006年には7月中旬から増加した。

2. 石川県各地の生産圃場におけるクモ相の比較

①科および種の構成、種数、個体数

生産圃場の7調査地で採集されたクモ目は、12科71種4234個体であった。地域ごとのクモの種数と個体数は、莇生33種550個体、岩内46種1837個体、白山町32種546個体、辰口26種611個体、渡津15種121個体、瀬木野26種567個体であった(表5)。種数と1水田あたりの採集個体数には、大きな地域間差があった。また、種数と個体数の間には有意な正の相関が見られた($P<0.01$, $r=0.85$)(図18)。さらに、生産圃場の優占種はどの地域でもサラグモ科のセスジアカムネグモ(*Oedothorax insecticeps*)であった。本種は休耕田、畦、畑において成体越冬し、越冬成体の出現は夏季に2～3ヶ月にわたるため、水田での世代の重なりが大きい(大熊,1958; 田中,1973)。水田に生息する主なサラグモ科は、セスジアカムネグモ、ニセアカムネグモ(*Gnathonarium dentatum*)、ノコギリサラグモ(*Erigone prominens*)の3種である(川原,1975)。本研究でも3種が採取された。これらの3種は日本各地の水田に共通して分布し(八木沼,1986)、水田でのコモリグモ類とともに、ウンカ、ヨコバイ類の捕食者として重要である(小林,1961)。

②農法間の比較

同地域内に、農法が異なる水田が存在する場合(例えば、白山町の特別栽培農法の白山町1と慣行農法の白山町2、岩内の直播の岩内1と慣行の岩内2、辰口の有機の辰口1と慣行の辰口2、瀬木野のカルテック農法の瀬木野1と慣行の瀬木野2)農法の異なる水田間でクモ相を比較した。その結果、白山町では特別栽培農法の方が、慣行農法より種数($P=0.02$, t検定)、個体数($P=0.06$,同検定)とも有意に多かった(図19)。一方、有機と慣行を比較したところ、辰口ではそのような傾向はなかった。さらに、他地域でも農法間でのクモ種数と個体数の差はなかった。農法間でクモの種数と個体数が異なった白山町における優占科は、両農法ともサラグモ科、アシナガグモ科、ヒメグモ科、コモリグモ科であり、優占種はセスジアカムネグモであった。さらに個体数はサラグモ科とコモリグモ科では農法間で有意差があった(表6)。種数は、サラグモ科、アシナガグモ科、コモリグモ科は、有意差があった。従って、サラグモ科とコモリグモ科は種数、個体数

とも殺虫剤の影響を受けやすいことが分かった。セスジアカムネグモは殺虫剤に対する感受性は低く、発育時期はコモリグモ類と比較して短いことから、水田におけるウンカ、ヨコバイ類の天敵とみなされているが、(川原ら,1971)、本研究では、それは裏付けられなかった。優占種であるセスジアカムネグモが減少すれば殺虫剤の影響によって、害虫を含む植食者の密度が上昇するかもしれない。

田植え方法の効果：
岩内の直播と移植の間にはクモ密度差がなかった。クモ目のほとんどは、7月から密度が増加し、8月から9月にピークを迎える。直播方と移植の大きな違いは、イネ分げつ期までの成長速度の違いである。直播のメリットはイネを籾の状態から直接水田に撒くため、コストと労力をかけずに田植えをできることである。しかし、田植え後のイネの成長は移植法に比べ良くない。これは、移植法の方が多くの株を一度に植えられるからである。しかし、2農法間のイネの成長差は8月にはほとんどなくなってしまうので、クモ密度への影響が低かったのであろう。

カルテック農法と慣行農法：
瀬木野のカルテック農法と慣行農法の間にも差がなかった。カルテック剤投入の目的は、微生物を投入することにより、いもち病など病原菌に対する耐性を高めることである。このことからカルテック剤投入によるクモ相への直接的影響はないと考えられる。

③地域間の比較

<u>種数、個体数</u>
クモ相の地域間の違いをみるために、同じように慣行農法を行っている5地域の水田間の比較した。そのところ、クモ種数($P<0.01$)、個体数($P<0.01$)とも場所間に有意差が見られた(図20)。さらに、これらの水田をまとめて、地域ごとのクモ個体数、種数の地域間差を解析したところ、クモ種数、個体数は有意に異なった(種数、個体数;$P<0.01$ 一元配置分散分析)。また、地域間と同地域内の農法間のどちらが、クモ相に影響するかをみるために、Sorensen の一致係数 QS を用いて比較をした。この結果、地域間の一致係数(QS)は、0.62±0.05、同一地域内の農法間の QS は、0.7±0.07 であり、同一地域内の農法間の方が地域間より有意に高かった($P=0.05$　t 検定)。つまり、クモ相は農法の影響よりも、地域間差の影響を強く受けていることが分かった。また、農法間において種数、個体数に有意な違いがみられた白山町(特別栽培と慣行農法)では、農法間の QS は 0.65 であり、地域間で一番低かった。

④他の農管理法間の比較

<u>畦の草刈</u>：畦は代掻きや耕起時期には、昆虫やクモの逃避場所となる。畦の草刈の頻度

とクモ種数、個体数に負の相関がみられた(クモ種数,$P<0.01$, $r=0.7$;クモ個体数,$P<0.01$, $r=0.75$)
(図 21)。また、DCA 分析の結果、クモの種構成には畦の草刈の影響は見られなかった。
さらに畦の草刈と畦植物種との間には正の相関がみられた($P=0.02$, $r=0.37$)(図 22)。これは、畦管理による人為的撹乱により、畦にはより多くの植物種が生育できるが、クモ目は、生息地や繁殖地、又は耕作期間における避難地となる畦が撹乱されると悪影響を受けることを示している。

畦の除草剤散布頻度:散布頻度が高いほど、クモの種数、個体数は有意に高くなった(種数:$P<0.012$　個体数:$P<0.014$)。これは予想とは逆の結果であった。

水田内除草剤散布回数:田植え後に伸びてくるコナギなどの雑草は、イネの成長を阻害し、収量に大きなダメージを与える。一方、イネ株に生息する造網性のクモや、徘徊性のクモにとっては、棲家になる環境である。しかし、水田内の除草剤散布回数とクモ種数、個体数の間には有意な関係はみられなかった。

殺虫剤散布回数:殺虫剤散布回数とクモ種、個体数の間には有意な関係は見られなかった。

種構成
農法がクモ種に及ぼす影響をみるために、DCA 解析したところ、農法間およびまた地域間にグループが分かれる傾向がみられた(図 23a, 23b)。

⑤畦植物との比較
生産圃場において確認された畦植物は合計 120 種であった。苅生 54 種、岩内 60 種、瀬木野 45 種、辰口 48 種、渡津 76 種、白山町 52 種が確認され、畦植物種数は地域間で異なっていた($P<0.01$,一元配置分散分析)(図 24)。さらに種構成の Sorensen 一致係数 QS は、0.6±0.05 であり、類似性は高かった。また、各地域の畦植物種数とクモ個体数、種数との間には相関関係はなかった。

⑥景観とクモ相の関係
各調査地域間におけるクモ相の類似度(Sorensen 一致係数 QS)は、農法間のクモ相の類似度より低かった。クモの採集個体数と種数が最高の調査地は、周囲が森林と水田に囲まれた岩内(IA～ID)であり、最低の調査地は、森林で囲まれた渡津(WB～WE)であった。そこで、景観要素とクモ相の関係についてみてみた。各調査地の周囲 1km におけ

る景観要素(森林、水田、耕作地、池、川、宅地、その他)が占める割合と、クモ種数、個体数の関係をみたところ、森林率とクモ種数、個体数には、負の相関が確認された(クモ種数,P=0.05；個体数,P=0.06)。また、水田率とクモ相の関係には有意な関係はなかった。さらに、耕作地率とクモ相には正の相関が確認された(クモ種数,P<0.01；個体数,P<0.01)(図 25)。従って森林は生産圃場に生息するクモ群集の供給源にはなっていないと思われる。また、耕作地は畦と同様に水田の農業管理を行う際にクモ類の避難場所となり、多様性に貢献していることが分かった。

3. 復元棚田と生産圃場の比較

生産圃場のクモの種数、個体数の平均は種数 30±9.36、個体数は 122.36±71.95 /100 株であった。一方、北谷では 2004 年 38 種 92.96 個体/100 株、2005 年は 42 種 192.5 個体/100 株、2006 年は 38 種 141.14 個体であった。従って北谷の 2005 年、2006 年の採集個体数は、生産圃場の平均を上回った。さらに、種数はどの年も生産圃場より復元棚田の方が高かった。生産圃場と 3 年間の復元棚田のクモ相で DCA 解析を行ったところ、両者は大きく分かれた（図 26)。さらに、復元棚田は年ごとに集中する傾向は見られ、わずかであるが生産圃場に近づくという傾向があった。

5. 考察

(1) 復元棚田の3年間の変化

棚田復元後の経年変化に伴い、イネミズゾウムシなどのイネ植食者や、生産圃場に特化したキバラコモリグモやスジブトハシリグモ等のクモ種の増加が確認されたことから、北谷の生物相は、復元前の湿地特有の生態系から、水田選好種の増加と変化しつつあると考えられた。また、ギルド構成のうち捕食者の増加は、それを食物連鎖で支えるエサとなる昆虫の増加を意味する。しかし、本研究では、植食者は3年間で有意に増加しなかった。また、その他の節足動物も、2004年から2005年にかけて減少した。これには、2つ要因が考えられる。第1に捕食者増加に伴う捕食圧の上昇による影響である。北谷における捕食者の約8割をクモ目が占めるが、クモ目の移動性は飛翔昆虫と比べて低く、水田内昆虫相に対して、餌としての依存度が高いと考えられる。従って、捕食者密度が増加したことにより、植食者とその他の節足動物が増加しなかったと考えられる。第2はイネ植物や土壌中成分の変化である。アブラムシ上科は2004年から2005年にかけて約1/3に減少した。本研究ではイネ植物の生育状態は年次間で有意差はみられなかったが、イネのN量など栄養状態との関係が考えられる。また、その他の節足動物の優占目である粘管目は3年間において大きな個体数変化を示した(図8)。イネ株根本に生息する分解者の粘管目は、土壌状態(水分量やN、P、K)の影響を受けやすいと考えられる。今回は上記の土壌成分は測定しなかったが、もしデータがあれば、興味深い関連性を検出できたかもしれない。

北谷のクモ目についてのShannon-Weiner多様度指数は、2004年は1.98、2005年は2.27、2006年は2.28であり、3年間には大きな変化はなかったが、2004年から2005年に増加傾向がみられた。これは、里山でみられるクモ相に加えて水田特有の種が移入し、種多様性が高くなってきたと考えられる。

<u>クモ目の捕食者としての有用性</u>

クモ目はウンカやカメムシなどの植食者を制御する捕食者である(小林,1961, 川原ら,1971)。本研究でも、7月上旬から密度が増加したウンカ科に対して、優占捕食者であるヤサガタアシナガグモを除く3種(ウエノフクログモ、スジブトハシリグモ、キバラコモリグモ)の防除効果は大きいと考えられた。この立証には捕食者除去実験を行う必要がある。ヤサガタアシナガグモは、8月の個体数ピーク後は、他の優占科と異なり、密度が低下したので、ウンカ類の防除には他の優占種ほど、役立っていないと推測できた。しかし本種は、水田の優占科(コモリグモ科、アシナガグモ科、ヒメグモ科、サラグモ科)(小林,1961)の中では、日あたりの最大攻撃量(頭)がコモリグモについで高かった(笹波ら,1970)。従って、密度は低くとも、捕食能力を考慮すると、ヤサガタアシナガグモの植食者抑制効果をもつかもしれない。

ゾウムシ科、アブラムシ上科は、どちらも6月に個体数のピークがあることから、ク

モ目の餌昆虫となりうるが、6月にはクモ目の優占4科は低密度であり、高い防除効果を期待できない。クモ目は田植え後の水田に成体が移入し、そこで繁殖して密度が増加する。従ってクモ目の密度がまだ低い6月には、テントウムシやハネカクシなどのクモ以外の捕食者が植食者防除にとって有効的であろう。

(2)生産圃場の昆虫相

農法間の違い

特別栽培農法と慣行農法の影響を比較した白山町にのみ、クモ種数、個体数に有意差が見られた。殺虫剤散布がクモに影響することはよく知られており(桐谷,1978)、白山町ではそれが裏付けられた。辰口では有機農法と慣行農法の間の差がなかった。その原因のひとつは、殺虫剤投入方法が考えられる。辰口の慣行農法水田では殺虫剤をヘリコプター散布しており、広範囲への拡散が起こっていると思われる。もうひとつの原因は、最近の殺虫剤では弱毒化もしくは、標的生物への選択化がすすんでいることである。以前は農薬散布によりクモ個体数、種数が低下した(小林ら,1978)。また、慣行農法は有機農法と比較し、クモ種数よりも個体数を低下させた(Martin .H et al, 2005)。しかし、日本では殺虫剤への環境汚染や生物への影響が強かったのは80年台までであり、最近の農薬は生物への影響が低下していると思われる。白山町ではDr.オリゼプリンス(カメムシ科対策の有機リン系農薬)とビームトレボンを併用していた。一方、辰口のクモ種数、個体数が有機農法を上回った慣行農法水田(RE)では、Dr.オリゼプリンスのみを散布しており、クモに対する影響は殺虫剤の種類によっても異なったことが推測される。

白山町で優先していたサラグモ科とコモリグモ科は、種数と個体数は慣行農法の方が有意に低かった(表6)。この2科は植食者防除能力の高いことで知られており(笹波ら,1970)、水田の普通種でもある(川原,1975)。本研究においても、優先種であるセスジアカムネグモ(サラグモ科)に対して殺虫剤は有意に影響したことから、殺虫剤散布はクモの個体数低下を引き起こし、餌昆虫であるウンカやカメムシの個体数増加を引き起こす可能性が考えられる。本研究では、クモ目については種ごとに分析したが、他の昆虫類については詳しく分析できなかった。現在問題となっているカメムシに対するクモの生物防除能力と殺虫剤の効果についての詳しい比較検討は、今後の研究課題である。

地域間の違い

慣行農法間で栽培されている各地の水田を比較すると、クモ相は種数、個体数とも有意に異なっていた(図20)。地域ごとのクモ種数、個体数の差は周囲の景観の特徴、両方によって決まっていると考えられる。(景観要素とクモ相についての関係は後述)。

農法間と地域間の比較

Sorensenの一致係数QSを比較したところ、農法間の差の方が地域間の差より有意

に高かった。つまり、クモ相は白山町のように農法による影響も受けるが、クモ相を決定する大きな要因の一つは地域ごとの違いであると判断できた。

他の農法管理とクモ相の関係

除草剤散布や畦の草刈などの物理的農作業とクモ類の種数、個体数との関係は、畦の草刈回数のみ負の相関があった。Thorbek et al.は、草刈による農耕地の機械的撹乱が、ゴミムシやクモなどの捕食者にとって大きな死亡要因となることを報告している。畦はクモ類の生息場所や繁殖場所となっており、草刈は種数、個体数に影響したのであろう。また、草刈機による除草を行うことにより、クモ密度が 50%低下すると報告されている(P.Thorbek and T.Bilde 2004)。さらに、撹乱されない畦には、農作後に節足動物が避難し、繁殖場所として利用するため、再移入が起こることも知られている(Granesen &Toft 1987, Ekbpon, Landis, Wratten&Gurr 2000, Giulio,Edward&Meister2001, Thomas et al 2000)。すなわち、畦は耕起や稲刈りなどの農業管理時期にはクモ類の生息にとって重要な生息地と考えられる。刈った草の除去はクモの生息地環境には好ましくない(P.Thorbek and T.Bilde 2004)。本調査地で使用されていた畦草刈機は、ノコギリ歯の円盤カッターが高速で回転して草を刈るようになっており、除草後は、切断された畦植物は飛び散り、畦にはほどんど残らなかった。

耕作地管理がクモ類のような捕食者に与える影響は、季節的によって異なる(P.Thorbek and T.Bilde 2004)。農業管理によって引き起こされる生物相への影響は、自然個体数の変動(移入、移出、死)などと一緒になって生じるであろう(Thiele,1997)。本研究では、生物個体群の自然変動とそれに及ぼす農法管理の影響を切り離して検証できなかった。この点も今後の研究課題の一つである。

畦の植物種とクモ相の関係

地域間の畦植物の種類似度は高かったが、種数には地域間差がみられた。それは、畦植物が除草剤の使用や草刈をはじめとする管理方法により影響されるからであろう。畦植物の種数とクモ種数、個体数には相関関係は見られず、畦植物の多様性がクモ相に及ぼす直接的影響は小さいと考えられた。クモの繁殖時期や、稲刈り後から越冬期間における畦植物被度がクモ類に影響していると推測される。

畦植物種数と草刈回数には正の相関が見られた。これは管理作業によって、少数種の優占を抑制し(Hayasi and Tominaga,2004)、畦草刈などの適度な撹乱により、畦植物の種多様性が保たれるのであろう。

景観とクモ相

景観構造は、毎年作付けされる変動性の高い生息地では生物多様性に対して強く働く(Kareiva&Wennegren 1995, Weibull&Östman2003, Schnidt,Thies&Tscharntke2004, Tscharntke&Brandl2004)。本研究でも、耕作地の面積とクモの種数には正の相関があった。これは、耕作地がクモにとって農作業期における避難場所や、繁殖地として重要であることを示唆する。

以上のように、クモ類に影響する要因には、殺虫剤、畦の草刈などの農作業と共に、農地周辺の景観構造が含まれていた。そのため、クモ類の植食者への捕食力を高めるには、殺虫剤の使用を止めること、あるいは殺虫剤(Drオリゼプリンス)を使用すること、畦の草刈頻度を低くすること、クモの繁殖地や越冬場所となる耕作地を周囲に増やす必要がある。

(3)生産圃場と復元棚田の比較(これからの復元棚田の昆虫相の推移予測)

生産圃場と北谷の種数、個体数、構成は大きく異なっていた。この要因として、第一にクモの生物的性質がある。クモは、様々な環境に棲息するが、移動性は飛翔性昆虫と比較して低いため、環境指標生物とみなせ、そのため、環境変化に対する対応力は他の昆虫類に比べて低い。北谷では水田を復元して2～3年しかたっておらず、外部からのクモ類の移入が進んでおらず、まだ種類相の遷移の途中であり、生産圃場の種構成に到達してなかったと思われる。さらに、北谷は周囲を里山で囲まれており、外部からの水田特有の造網性の種(サラグモ科、ヒメグモ科)の移入が起こりにくいと考えられる。サラグモ科の幼体はバルーニングにより分散するので、北谷には移入しにくいと思われる。第2に本研究では、地域間で種組成が異なったということである。一方、北谷3年間のデータをDCAで解析したところ、年ごとに分かれ、さらに経年変化に伴い、生産圃場のクモ相に近づいた。これは、年ごとに少しずつ生産圃場に水田選好種が増加したことを示している。3年間密度増加しつづけた12種中8種は水田で見られる一般的種であった。これは、水田選好種が移入と繁殖により増加した結果であろう。従って、北谷では、ここ独自の種構成を保ちつつも、さらに生産圃場には水田選好種が増加し続けると思われる。

図の説明

図 1. 金沢大学角間キャンパス内の北谷の地図。右谷の③～⑯は復元棚田を示し、その上は畑(黒の部分)を示す。左谷の池①～⑦は復元された池を表す。No.1～3 は温度ロガー(TMS-70)の設置場所を示す。

図 2. 北谷の棚田復元までの航空写真、(a)1975 年及び、耕作放棄後の様子、(b)1995 年。

図 3. 北谷の棚田復元前の様子。(a)2002 年 4 月及び、復元後の様子(b)2004 年 3 月。

図 4. 2006 年に調査した、石川県各地の生産圃場調査地。(　)：本文で使った水田名。

図 5. 北谷の気温と湿度の月別変化(2004 年～2006 年)。No.1～No.3 は温湿度データロガーの番号。左軸：気温(℃,折れ線グラフ)、右軸：湿度(%,棒グラフ)。

図 6. 北谷のイネの季節成長(2004～2006 年)。■：丈、—●—：分げつ、

—▲—：葉緑素(測定法と単位は本文参照)。

図 7. 叩き落とし法と覆い法により採集された昆虫相個体数の比較(2004～2006 年)。

図 8. 北谷において叩き落とし法により採集された昆虫相個体数の年次比較(2004～2006 年)。

図 9. 北谷において叩き落とし法により採集された半翅目個体数の年次変化(2004～2006 年)。

図 10. 北谷において叩き落とし法により採集された甲虫目個体数の年次変化(2004～2006 年)。

図 11. 北谷において叩き落とし法により採集された優占植食者個体数(調査 70 株あたり)(アブラムシ上科、ウンカ科、カメムシ科、ゾウムシ科)の季節変化(2004～2006 年)。

図 12. 北谷において叩き落し方により採集されたクモ目個体数の年次変化(2004～2006 年)。

図 13. 北谷において叩き落とし法により採集されたクモ目の個体数(a)及び、種数の年次変化(b)。バー：一元配置散分析の結果(P値)。同文字は統計的有意差がないことを示す(Tukey-HSD test, $P<0.05$)。

図 14. 北谷において叩き落とし法で採集されたクモ種の DCA 解析(2004～2006 年)。(a)水田間の類似性、(b)クモ種の類似性。

図 15. 北谷において叩き落とし法で採集された昆虫相のギルドごと(捕食者、植食者、その他)の個体数(グラフ左)、割合(グラフ右,%)の変化(2004～2006 年)。P値は Kruskal-Wallis 検定の結果を示す。

図 16. 北谷において叩き落し法で採集されたクモ目個体数(調査 70 株あたり)の季節変化(2004～2006 年)。

図 17. 北谷で採集されたクモ目の優占４種(ウエノフクログモ、ヤサガタアシナガグ

モ、スジブトハシリグモ、キバラコモリグモ)の個体数の季節変化(2004～2004年)。

図 18. 石川県各地の水田において採集されたクモ類の採集個体数と種数の関係。*P* と *r* は回帰直線の結果を示す。

図 19. 石川県各地のクモ類の個体数(a)と種数(b)の比較。水田あたり平均値(ヒストグラム)±標準誤差(バー)および、同地域間の t 検定の結果(図内の数値は *P* 値)を示す。

図 20. 石川県各地の慣行農法水田のクモ類の個体数(a)と種数(b)の比較。水田あたり平均値(ヒストグラム)±標準誤差(バー)及び、一元配置分散分析の結果(図内の数値は *P* 値)を示す。

図 21. 石川県各地において調査した水田の畦の草刈の回数と「覆い法」で採集した個体数(a)、種数(b)の関係。*P*、*r* は直線回帰の結果を示す。

図 22. 石川県各地において調査した水田の畦の植物種数と草刈回数の関係。*P* 値は直線回帰の結果を示す。

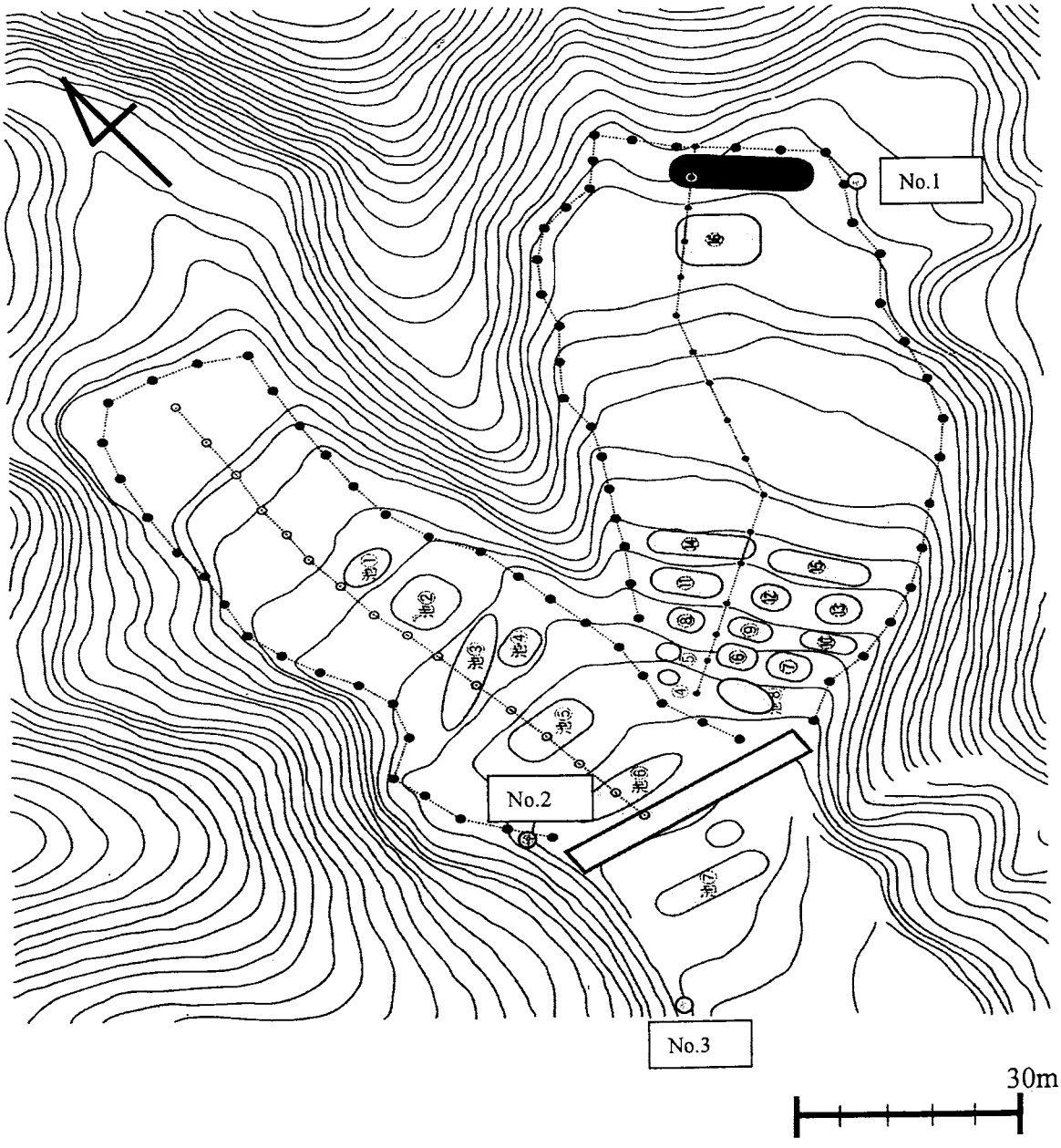
図 23. 石川県各地の水田のクモ類の DCA 解析。農法ごとの類似性(a)地域ごとの類似性(b)。

図 24. 石川県各地において調査した水田にみられた畦の植物種数の比較。平均(ヒストグラム)±標準誤差(バー)を示す。*P* 値：一元配置分散分析の結果を示す。同じ文字を付したバー間には平均値に有意差はない(Tukey LSD test, $P<0.05$)。

図 25. 石川県各地において調査した水田の周囲 1 k m における耕作地割合とクモ種数, 個体数の関係(2006 年)。

図 26. 北谷の復元棚田(2004～2006 年)及び、石川県各地において覆い法により採集されたクモ類の種数(2006 年)の DCA 解析。1～4 莇生、5～12 白山町、13～20 岩内、21～25 辰口、26～33 瀬木野、34～37 渡津、38～44 北谷(2004)、45～51 北谷(2005)、52～58 北谷(2006)。

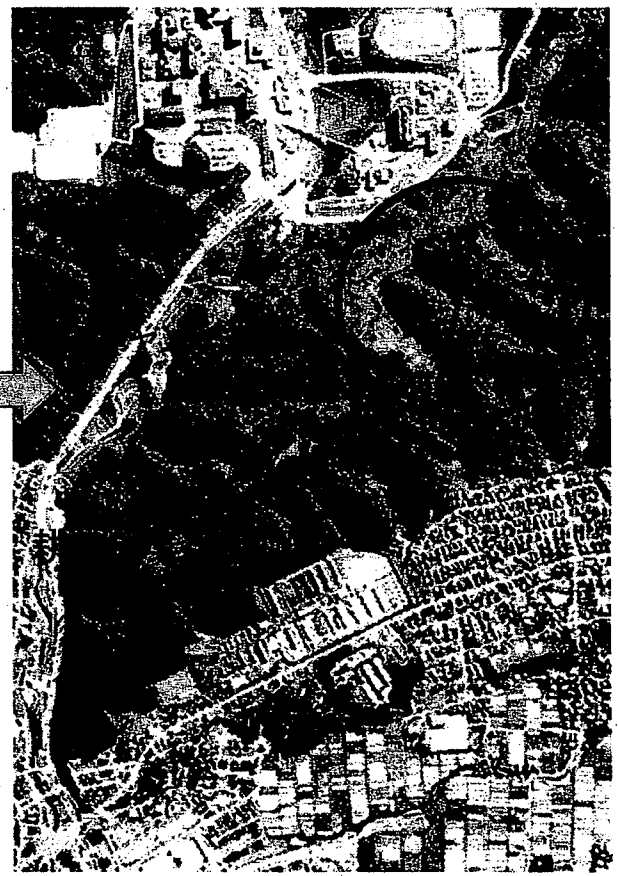
(図1)



(図2)

(a)

(b)

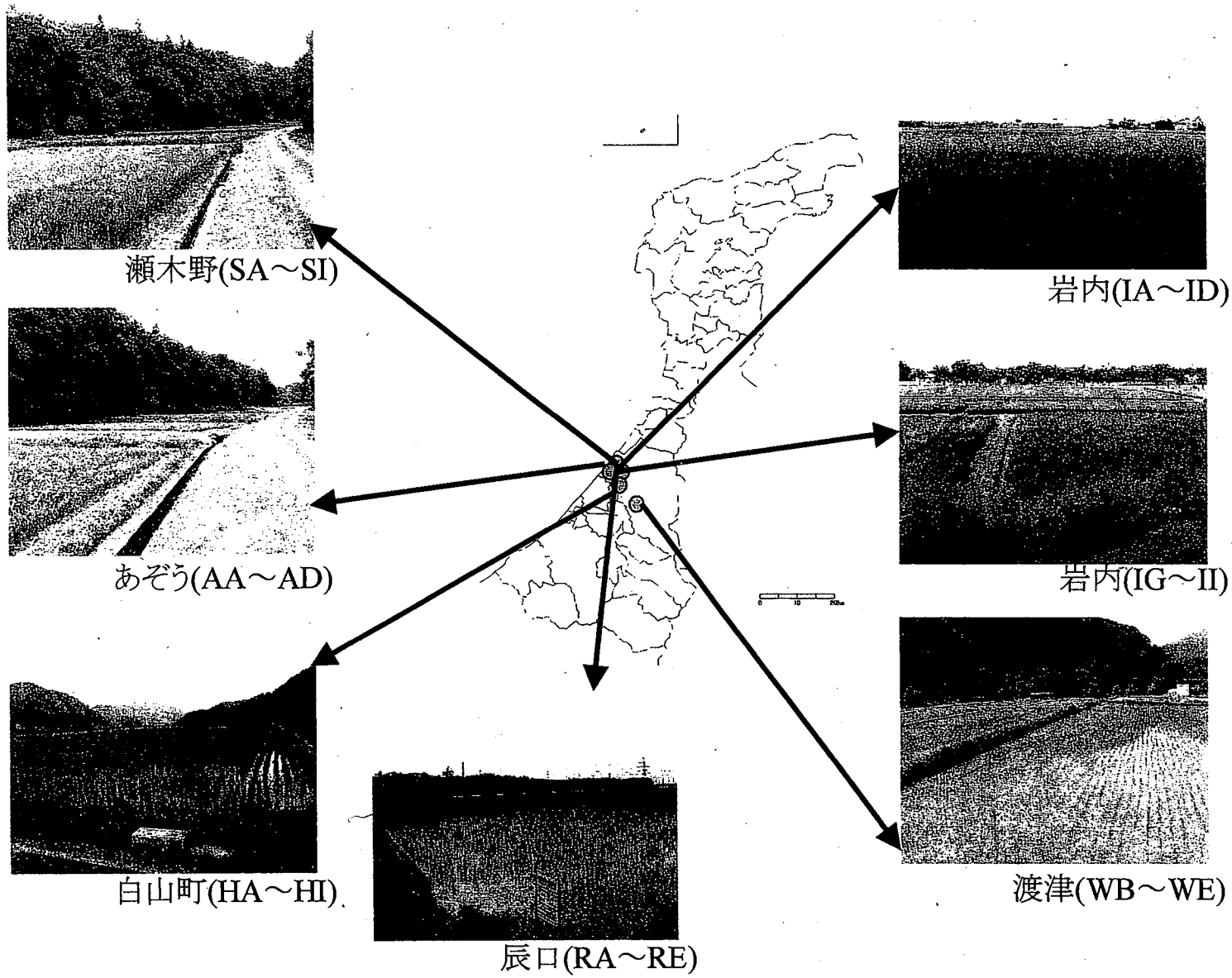


(図3)

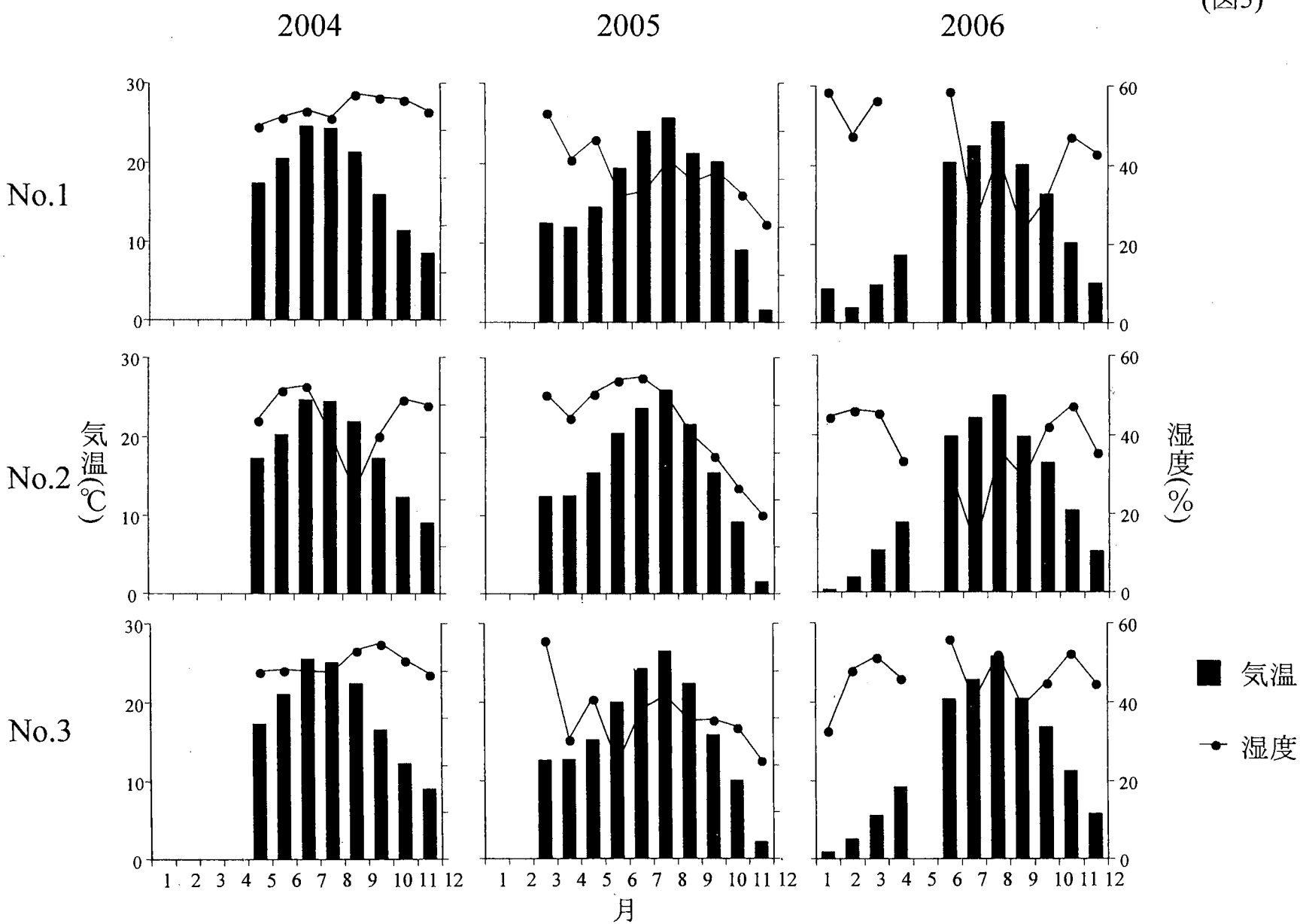
(a)

(b)

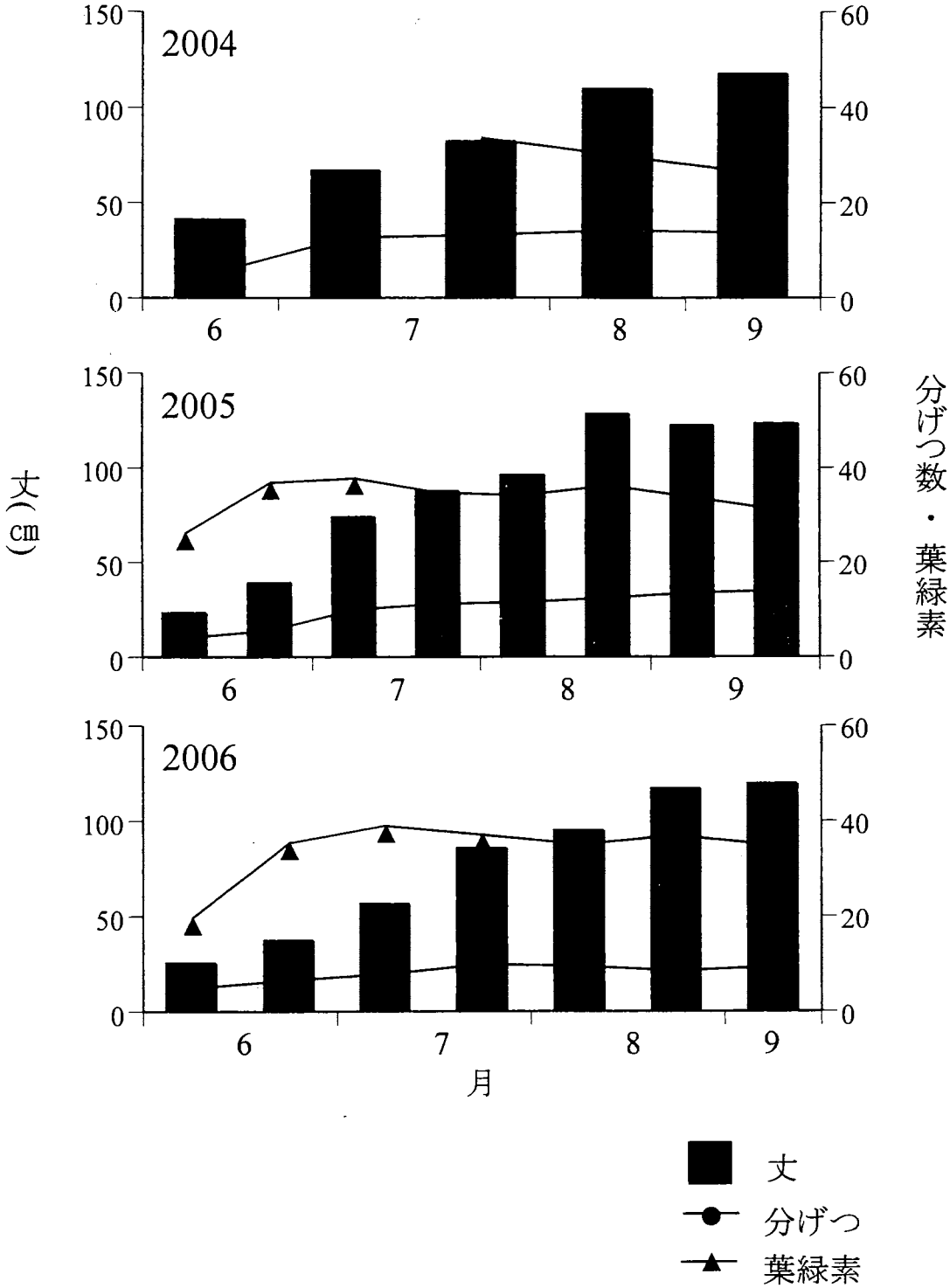
(図4)



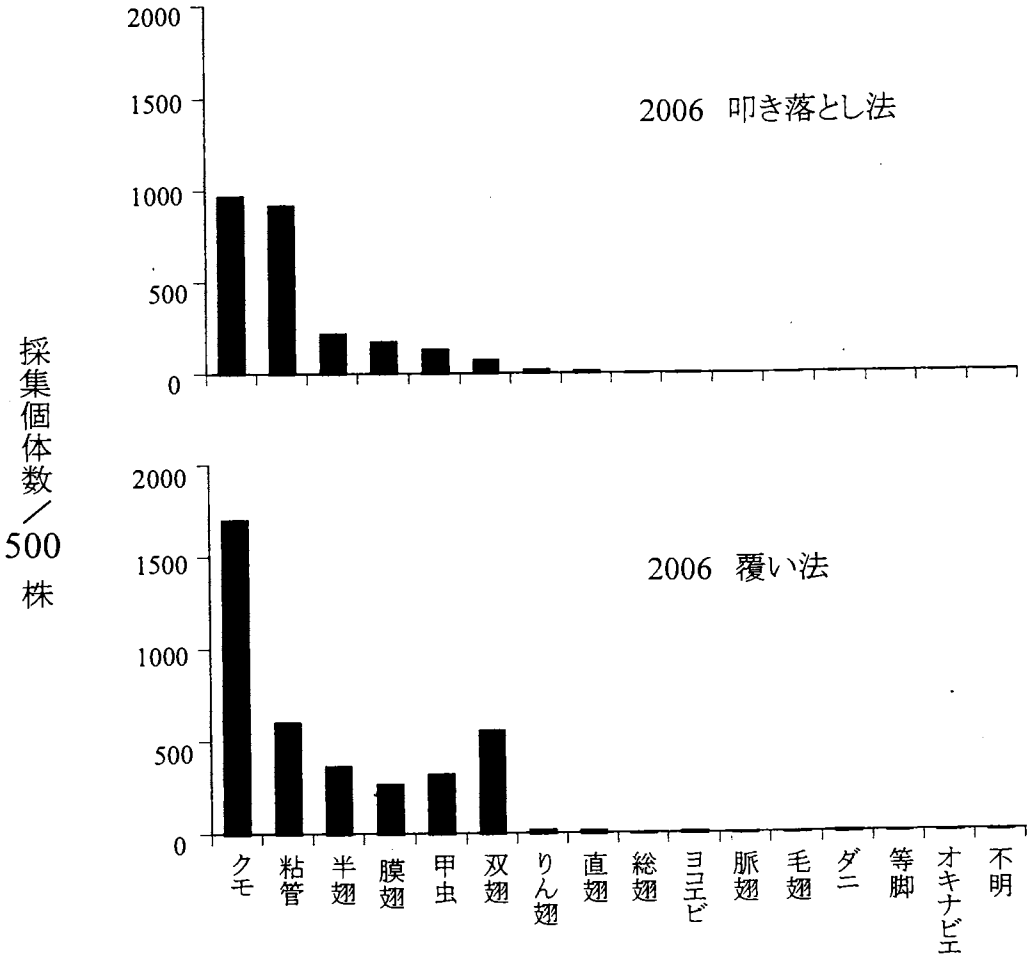
(図5)



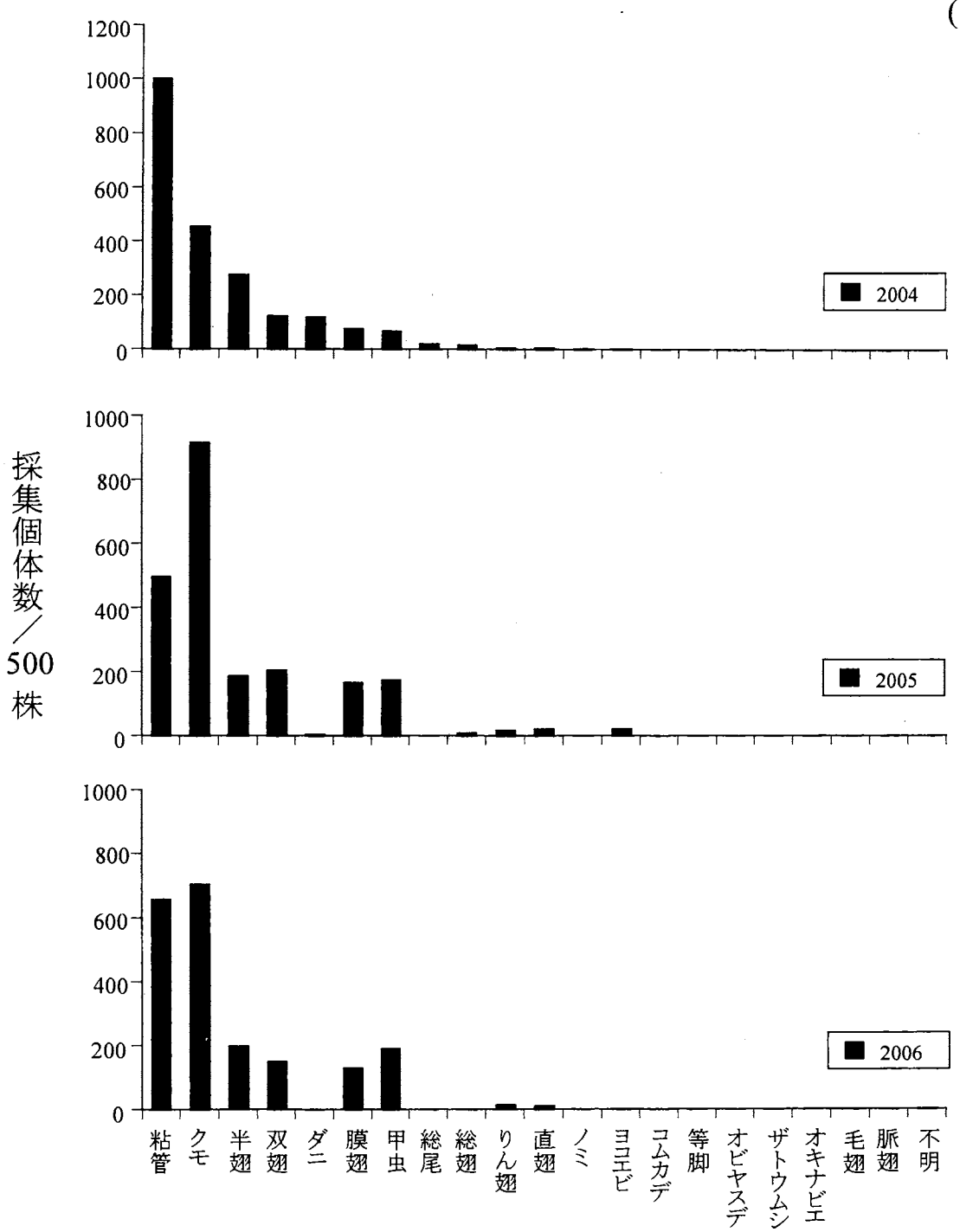
(図6)


2004
2005
2006
150
100
50
0
60
40
20
0
6
7
8
9
丈(cm)
分げつ数・葉緑素
月
丈
分げつ
葉緑素

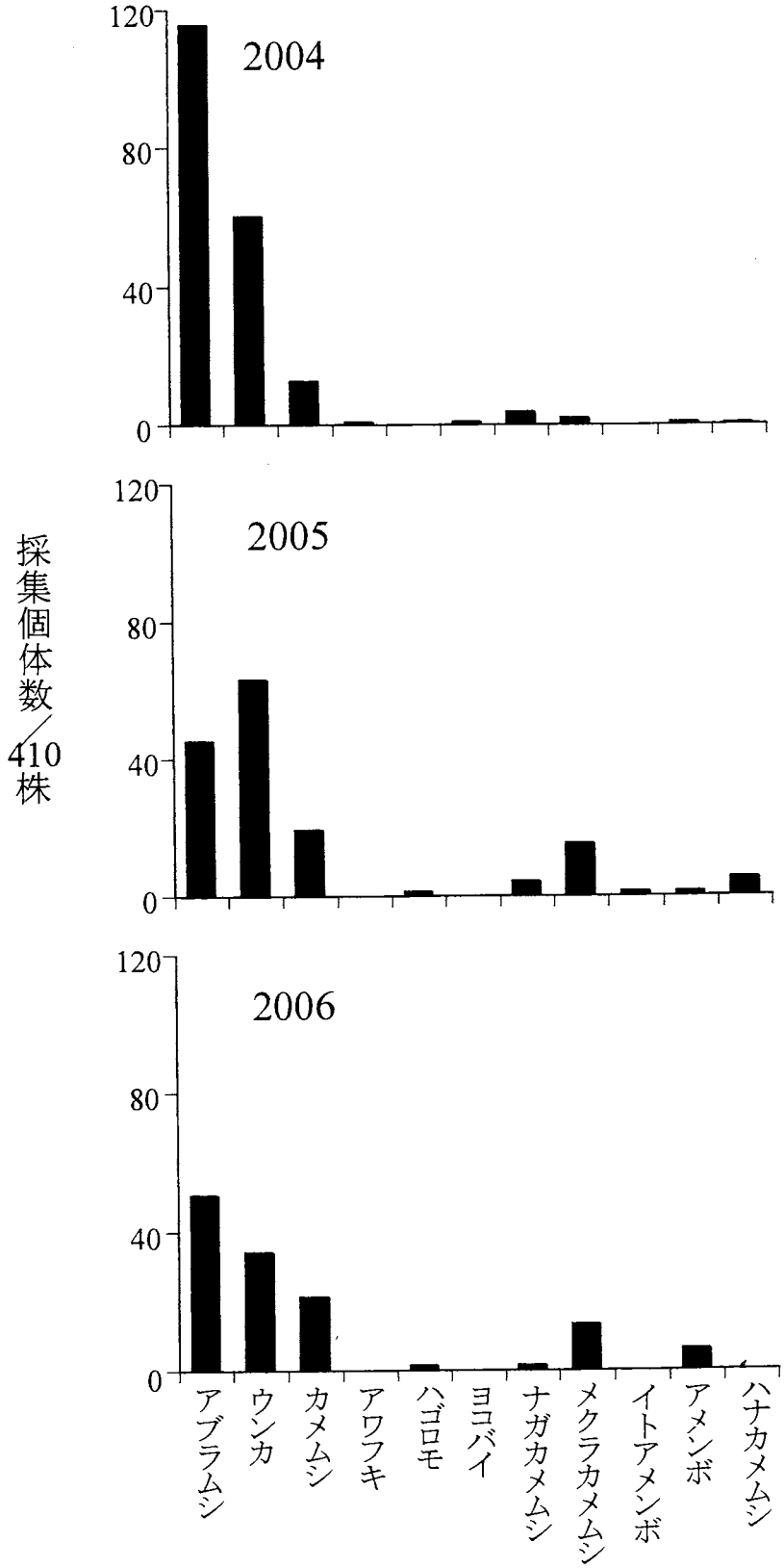
(図7)


2000
1500
1000
500
0
2006 叩き落とし法
採集個体数／500株
2000
1500
1000
500
0
2006 覆い法
クモ
粘管
半翅
膜翅
甲虫
双翅
りん翅
直翅
総翅
ヨコエビ
脈翅
毛翅
ダニ
等脚
オキナビエ
不明

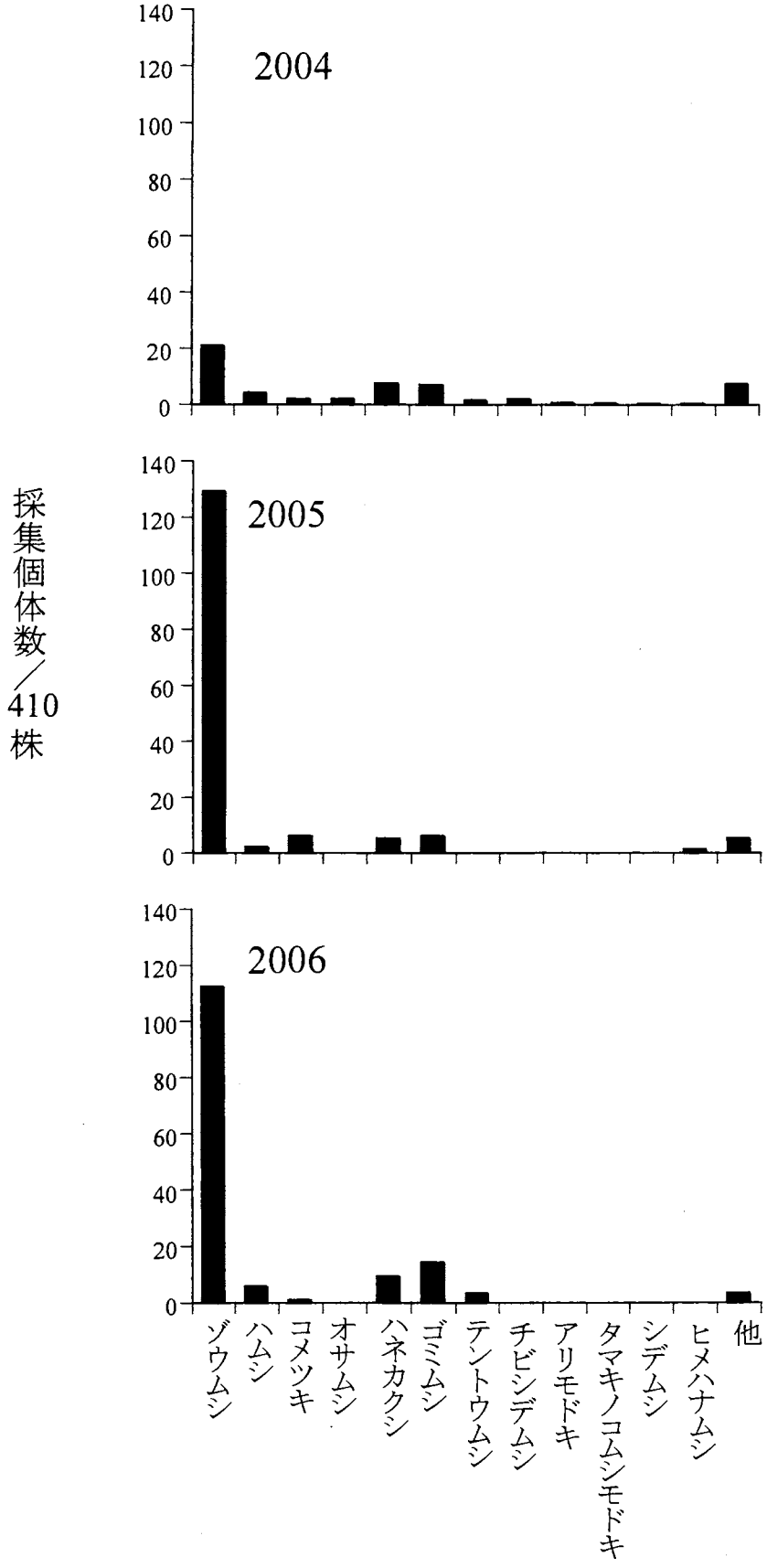
(図8)


採集個体数／500株
1200
1000
800
600
400
200
0
2004
2005
2006
粘管
クモ
半翅
双翅
ダニ
膜翅
甲虫
総尾
総翅
りん翅
直翅
ノミ
ヨコエビ
コムカデ
等脚
オビヤスデ
ザトウムシ
オキナビエ
毛翅
脈翅
不明

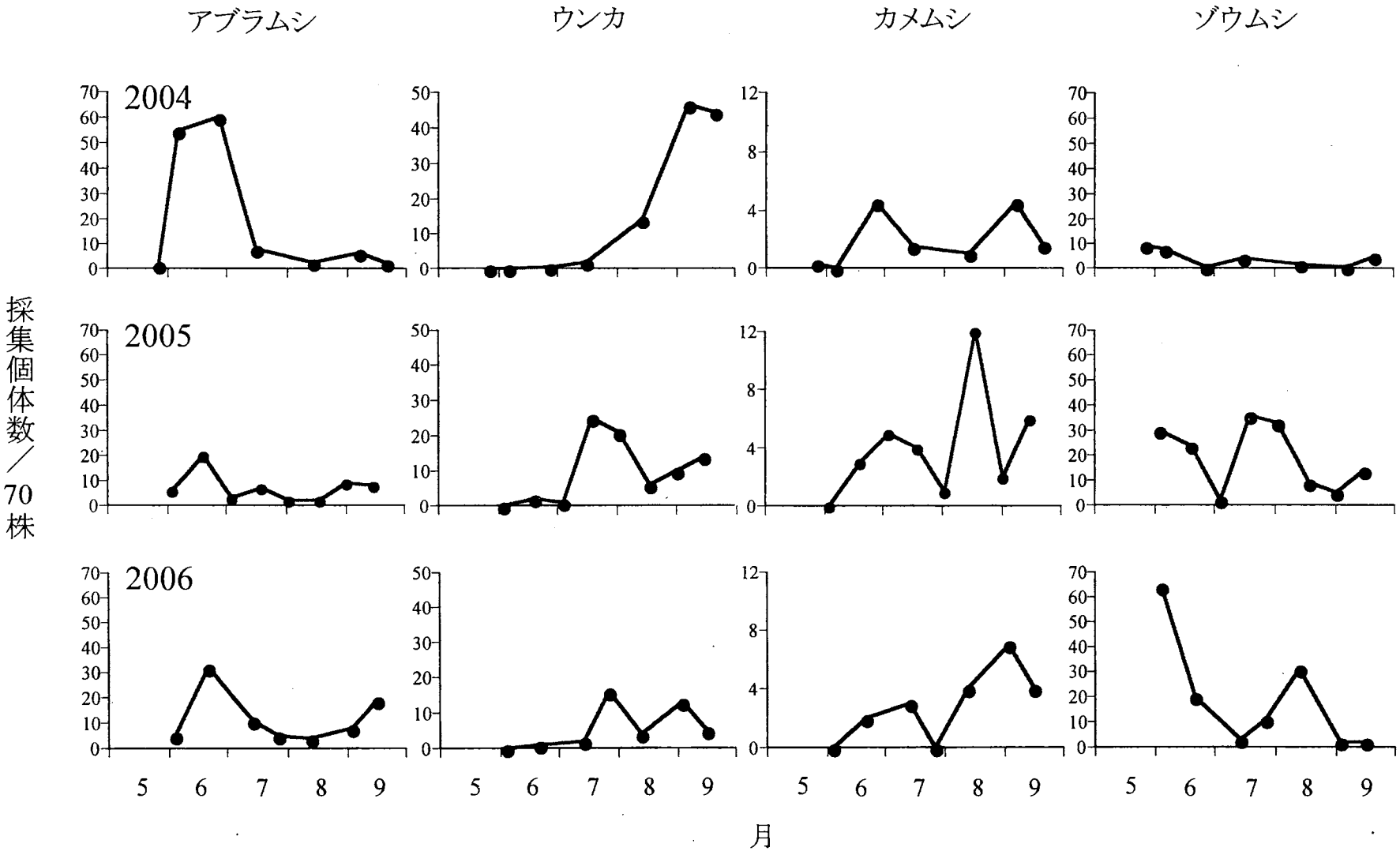
(図9)


2004
2005
2006
120
80
40
0
採集個体数／410株
アブラムシ
ウンカ
カメムシ
アワフキ
ハゴロモ
ヨコバイ
ナガカメムシ
メクラカメムシ
イトアメンボ
アメンボ
ハナカメムシ

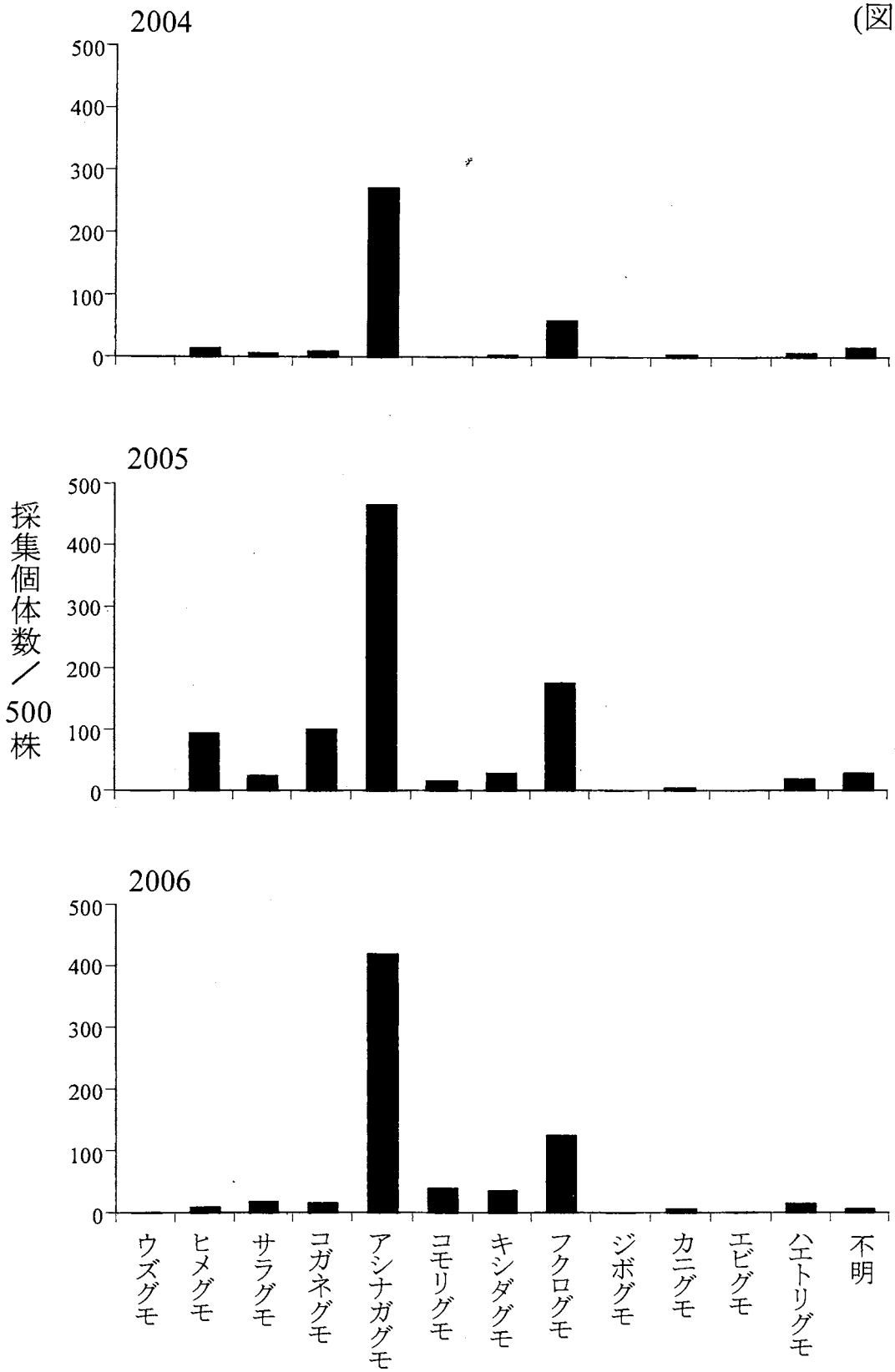
(図10)


2004
2005
2006
採集個体数／410株
140
120
100
80
60
40
20
0
ゾウムシ
ハムシ
コメツキ
オサムシ
ハネカクシ
ゴミムシ
テントウムシ
チビシデムシ
アリモドキ
タマキノコムシモドキ
シデムシ
ヒメハナムシ
他

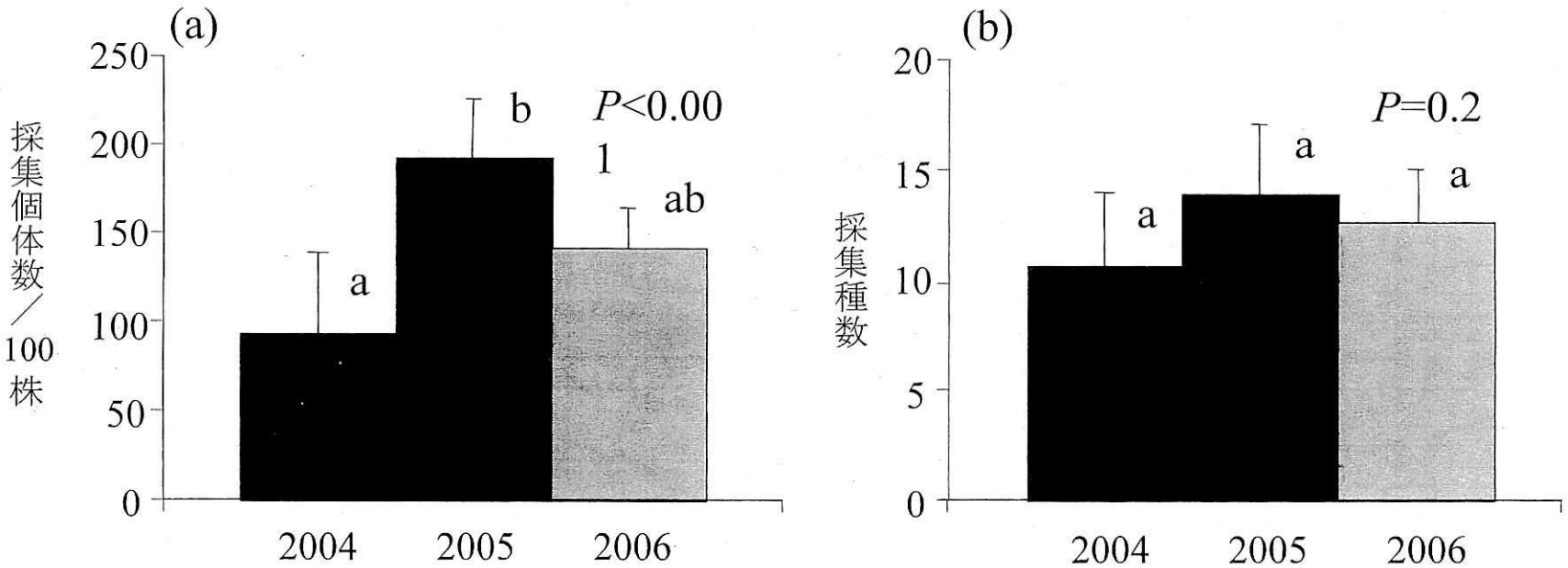
(図11)



(図12)


2004
2005
2006
500
400
300
200
100
0
採集個体数／500株
ウズグモ
ヒメグモ
サラグモ
コガネグモ
アシナガグモ
コモリグモ
キシダグモ
フクログモ
ジボグモ
カニグモ
エビグモ
ハエトリグモ
不明

(図13)


(a)
採集個体数／100株
250
200
150
100
50
0
a
b
ab
P<0.001
2004
2005
2006
(b)
採集種数
20
15
10
5
0
a
a
a
P=0.2
2004
2005
2006

(図14)

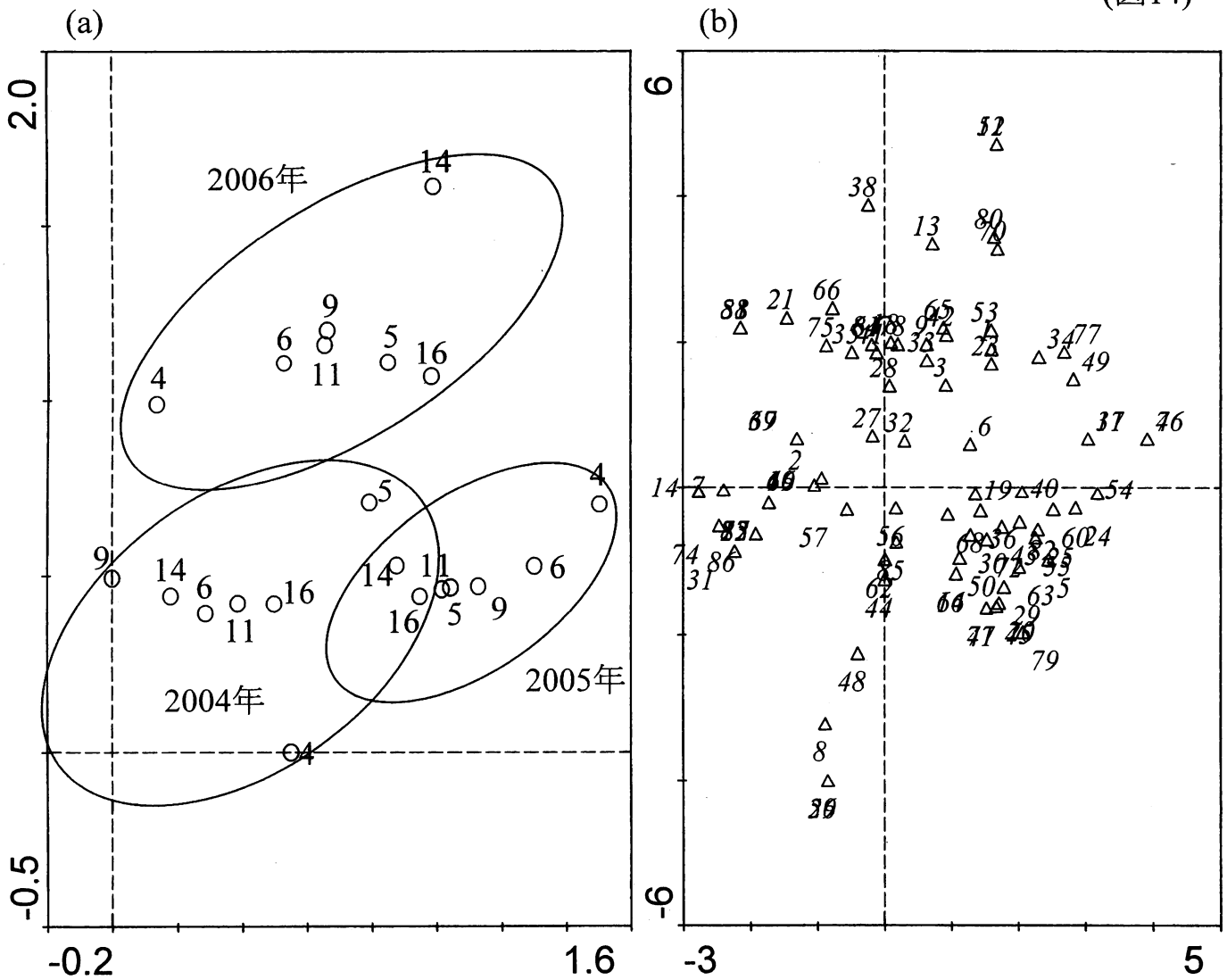
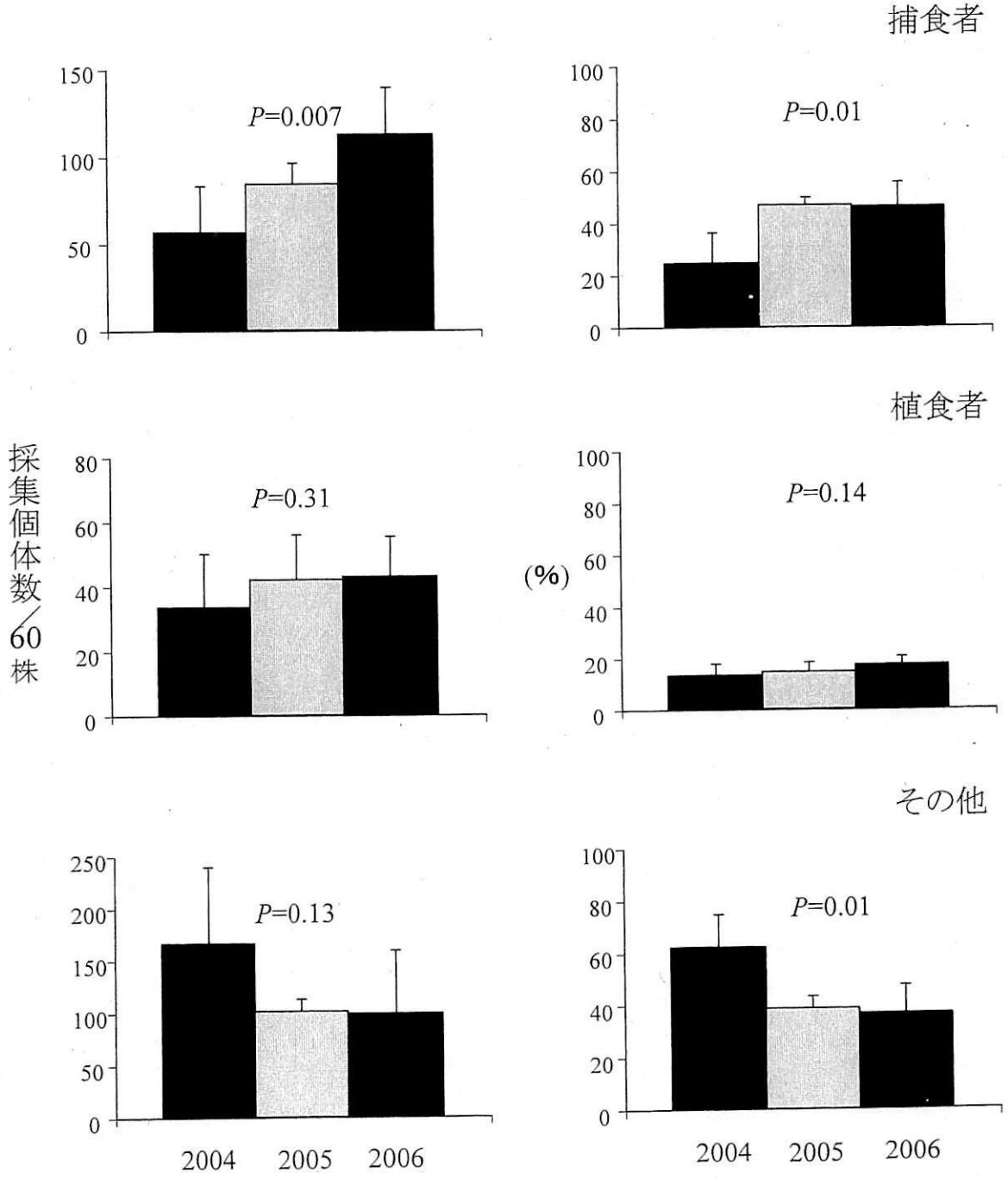


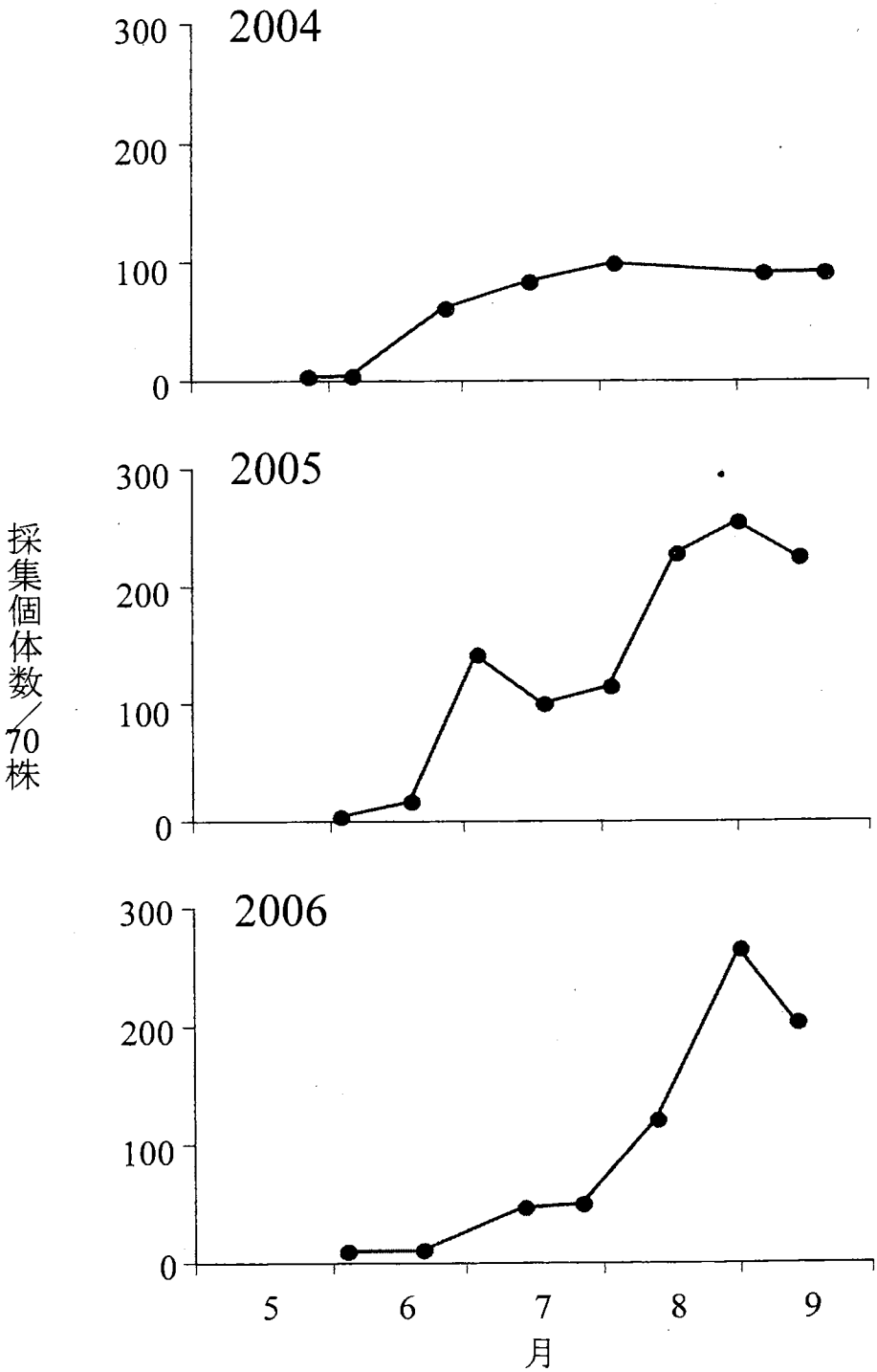
表4. 図14(b)の種リスト

No.	種	No.	種
1	アシナガグモ	45	ハエトリグモ科sp2
2	アシナガグモ科larva	46	ハエトリグモ科p5
3	アシナガグモ属p1	47	ハエトリグモ科p6
4	アシナガグモ属p2	48	ハナグモ
5	アトグロアカムネグモ	49	ハナグモsp
6	ウエノフクログモ	50	ヒメグモ科larva
7	エビスグモ属p2	51	ヒメグモ科p1
8	オオシロガネグモ	52	ヒメグモ科p2
9	オチバカニグモsp	53	ヒメグモ科p3
10	オニグモ	54	ヒメグモ科p4
11	オニグモ属p1	55	ヒメグモ科p5
12	オニグモ属p2	56	ヒメフクログモ
13	カイゾクコモリグモ	57	フクログモ科larva
14	カニグモ科larva	58	フタオイソウロウグモ
15	カニグモ科p2	59	ヘリジロサラグモ
16	キシダグモ科larva	60	ホシクロボシカニグモ
17	キタエビグモ	61	ホシグロボシカニグモ
18	キバラコモリグモ	62	マガネアサヒハエトリ
19	ギボシヒメグモ	63	マミジロハエトリ
20	クラークコモリグモ	64	ミズコモリグモ属p1
21	コガタコガネグモ	65	ミズコモリグモ属p2
22	コガネエビグモ	66	ウズグモ
23	コガネグモ	67	メスジロハエトリ
24	コガネグモ科larva	68	ヤサガタアシナガグモ
25	コガネグモ科p1	69	ヤサガタフクログモ
26	コガネグモ科p2	70	ヤハズハエトリp
27	コシロガネグモ	71	ヤマシロオニグモ
28	コハナグモ	72	ヤマトコノハグモ
29	コモリグモ科larva	73	ヤマトコマチグモ
30	サラグモ科larva	74	ヤミイロオニグモ
31	ジボグモ	75	ヤリグモ
32	ジョロウグモ	76	ヨツボシヒメアシナガグモ
33	スジブトハシリグモ	77	ワカバグモ
34	セスジアカムネグモ	78	ワキグロサツマノミダマシ
35	タイリクアリグモ	79	不明p1
36	チャスジハエトリグモ	80	不明p2
37	テングヌカグモ	81	不明p3
38	トビイロフクログモ	82	不明p4
39	ドヨウオニグモ	83	不明p5
40	ナガコガネグモ	84	不明p6
41	ニセアカムネグモ	85	不明p7
42	ノコギリヒザグモ	86	不明p8
43	ハエトリグモ科larva	87	不明p9
44	ハエトリグモ科p1		

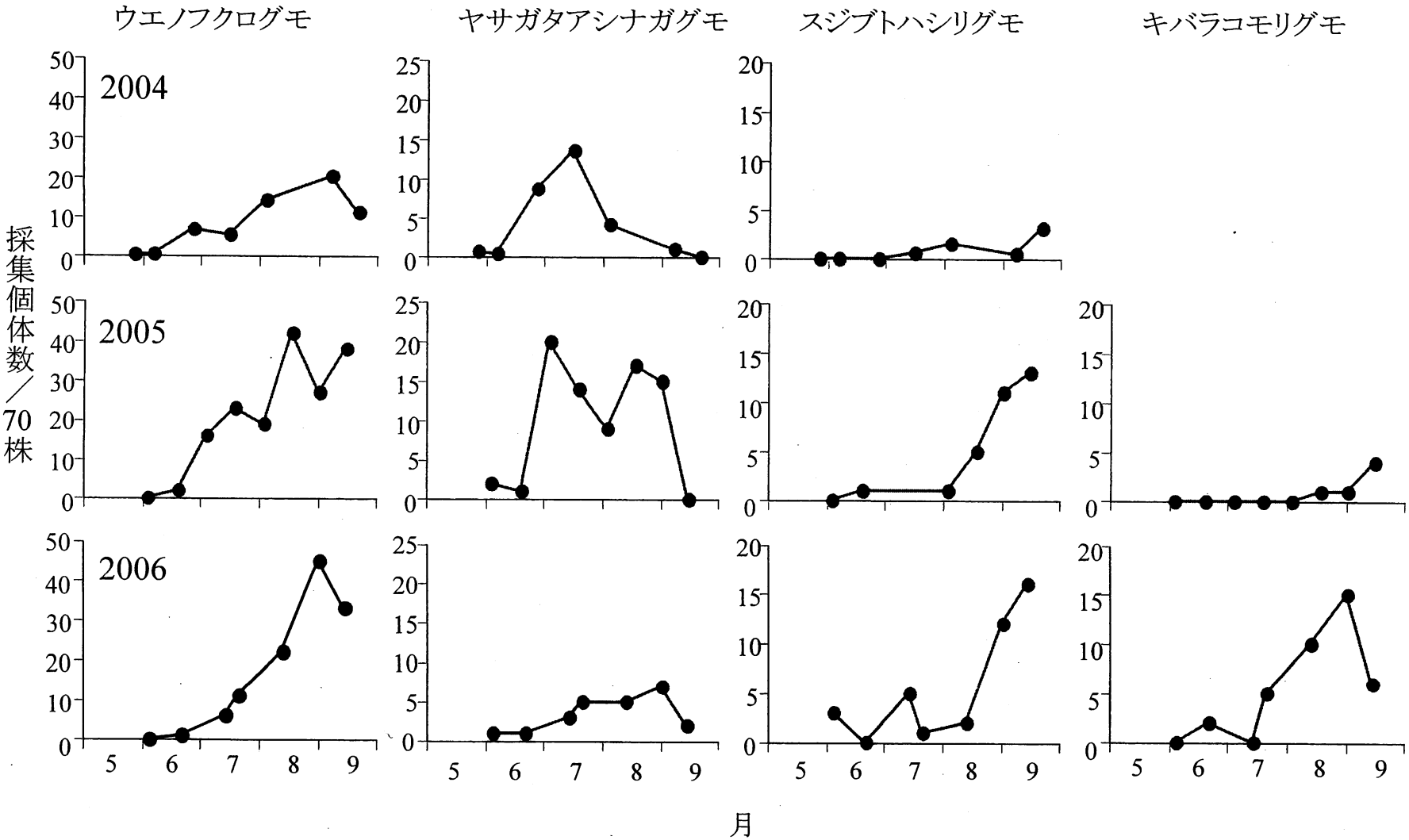
(図15)


捕食者
植食者
その他
採集個体数/60株
(%)
P=0.007
P=0.01
P=0.31
P=0.14
P=0.13
P=0.01
2004
2005
2006

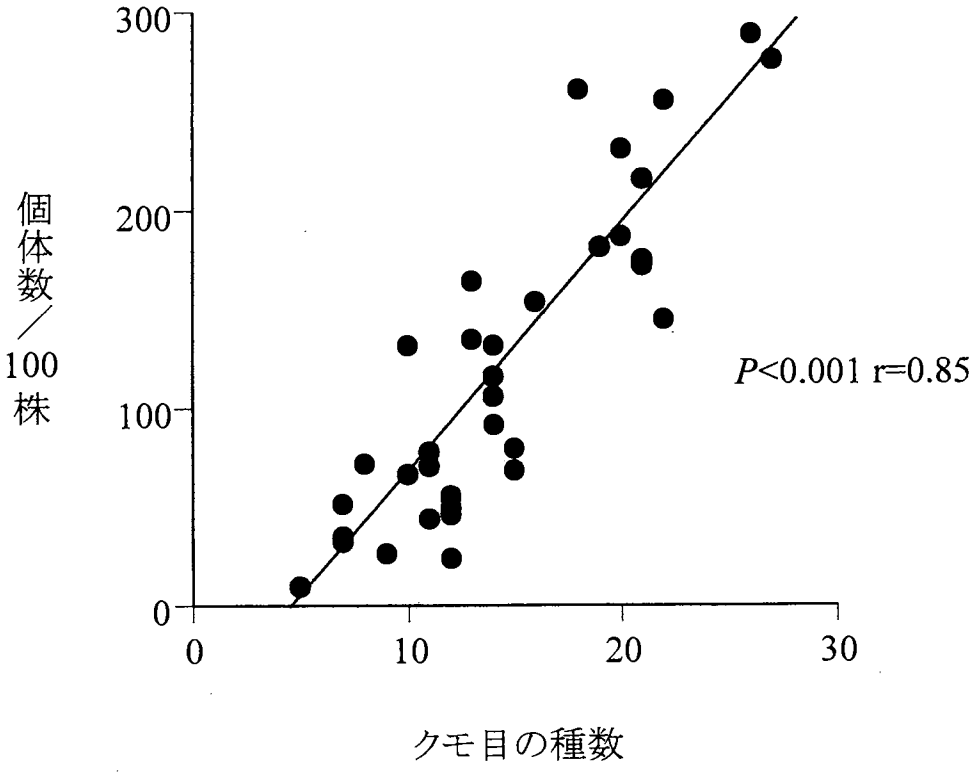
(図16)



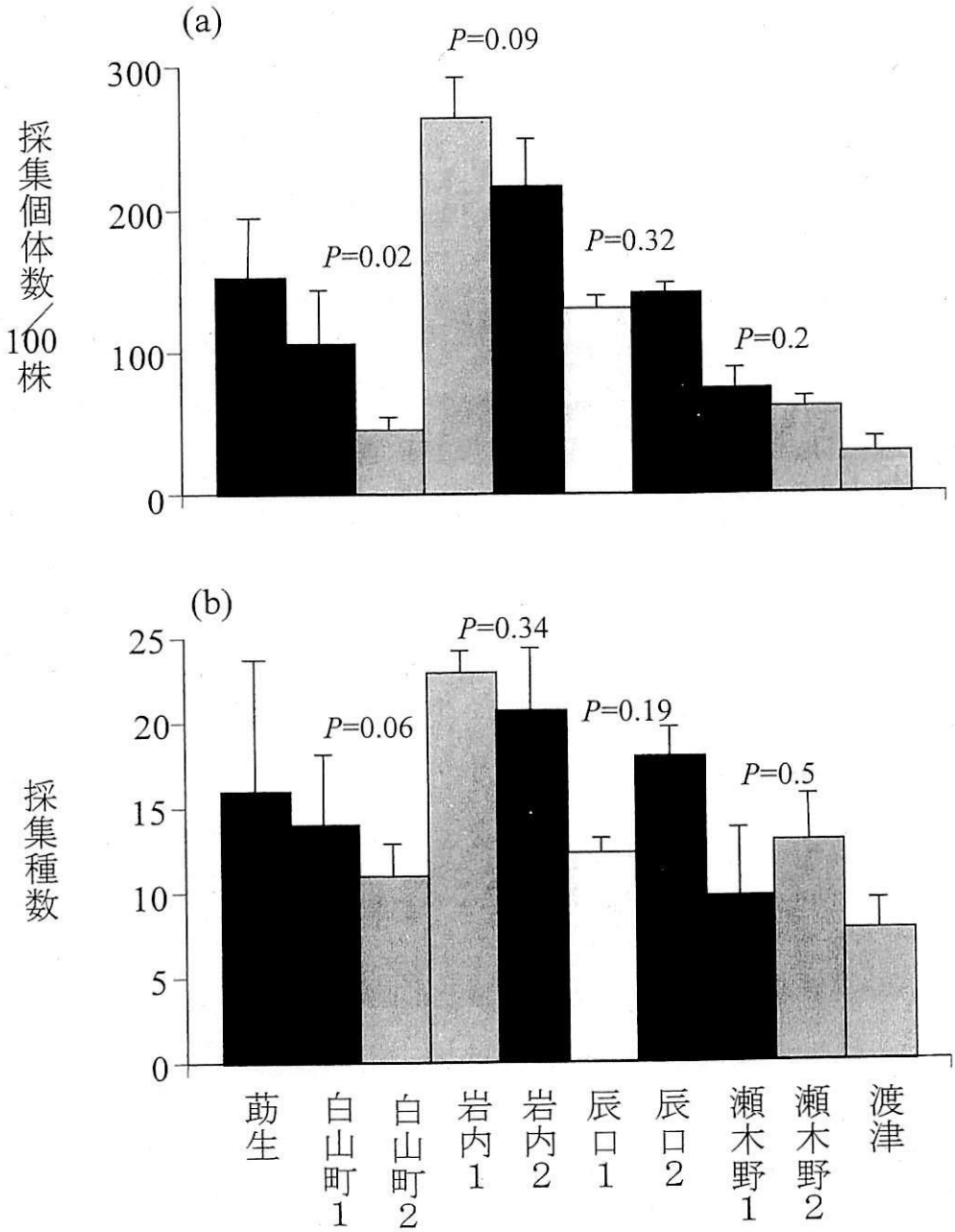
(図17)


ウエノフクログモ
ヤサガタアシナガグモ
スジブトハシリグモ
キバラコモリグモ
2004
2005
2006
採集個体数／70株
月
5
6
7
8
9

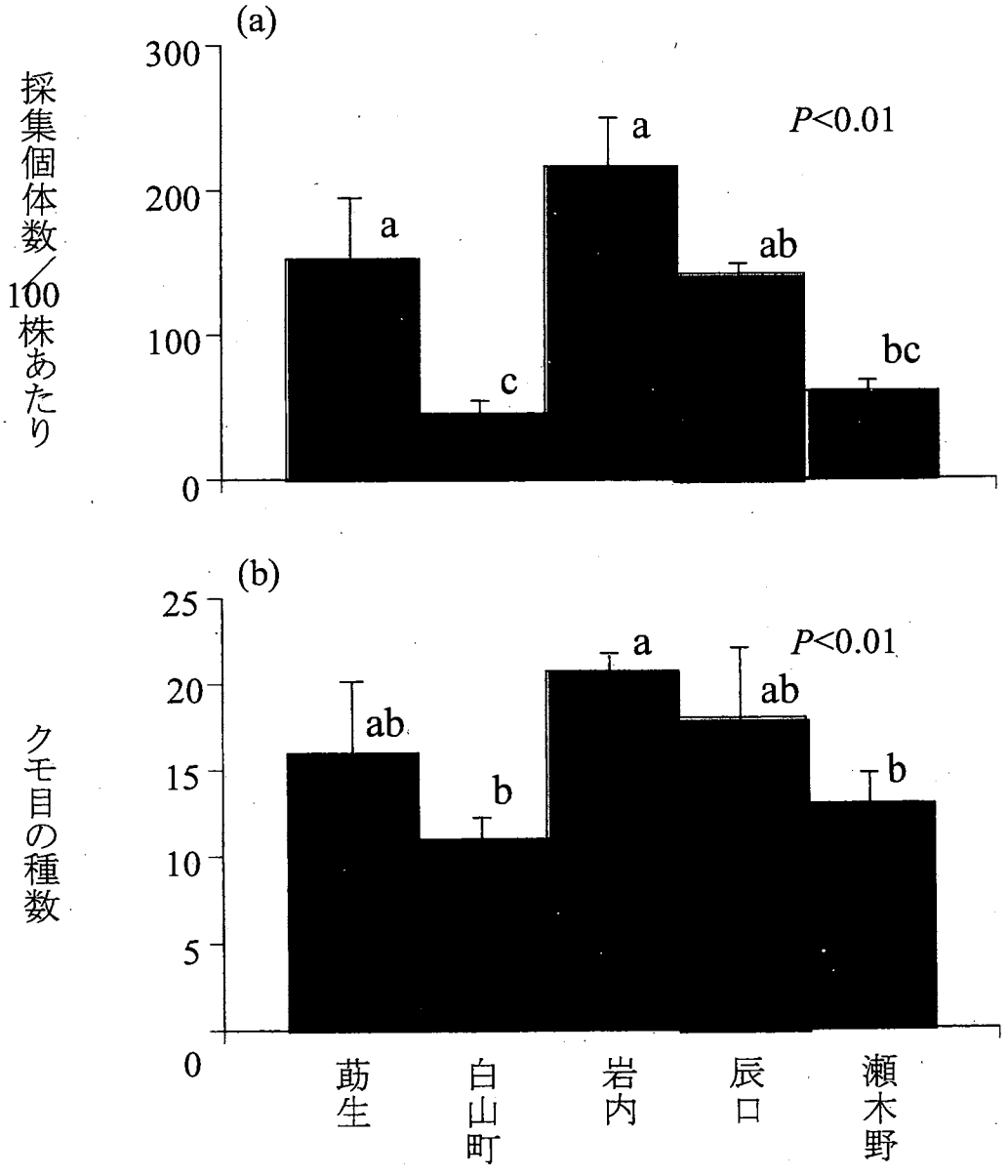
(図18)



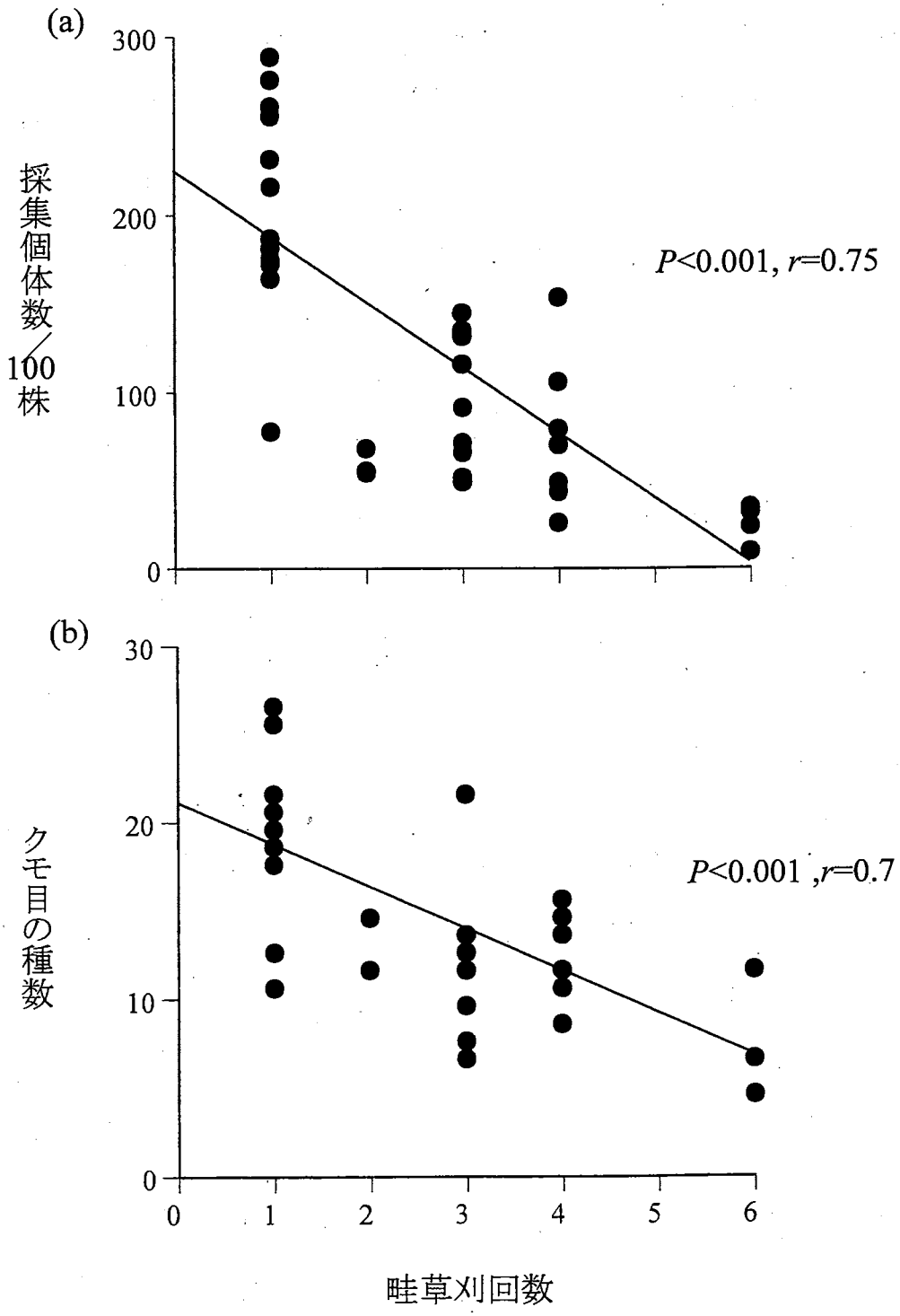
(図19)


(a)
採集個体数／100株
300
200
100
0
P=0.09
P=0.02
P=0.32
P=0.2
(b)
採集種数
25
20
15
10
5
0
P=0.34
P=0.06
P=0.19
P=0.5
莇生
白山町1
白山町2
岩内1
岩内2
辰口1
辰口2
瀬木野1
瀬木野2
渡津

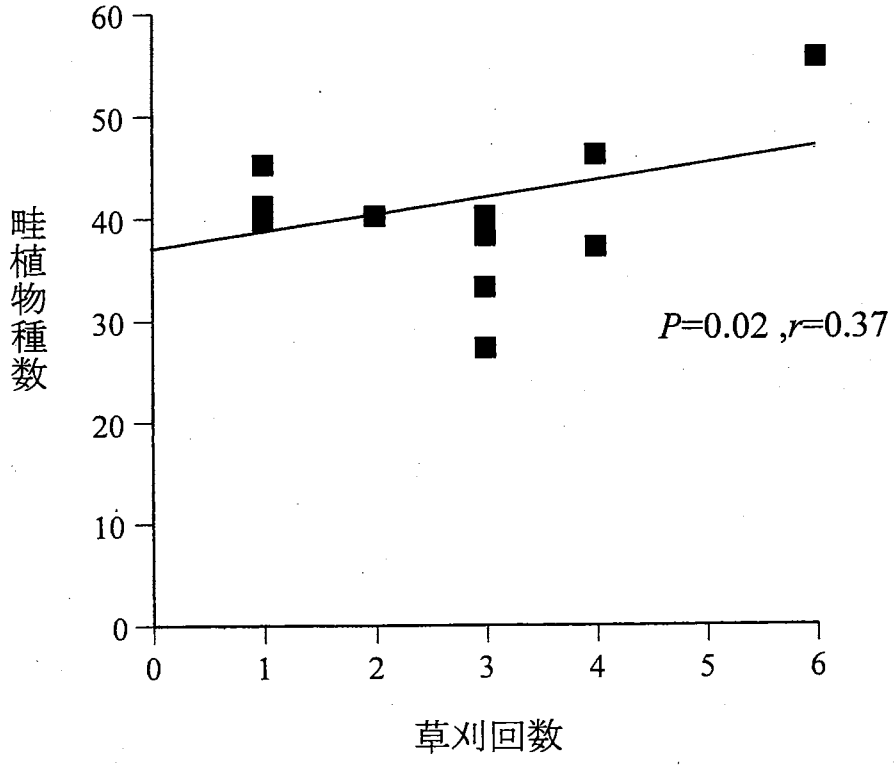
(図20)


(a)
採集個体数／100株あたり
300
200
100
0
a
c
a
ab
bc
P<0.01
(b)
クモ目の種数
25
20
15
10
5
0
ab
b
a
ab
b
P<0.01
苅生
白山町
岩内
辰口
瀬木野

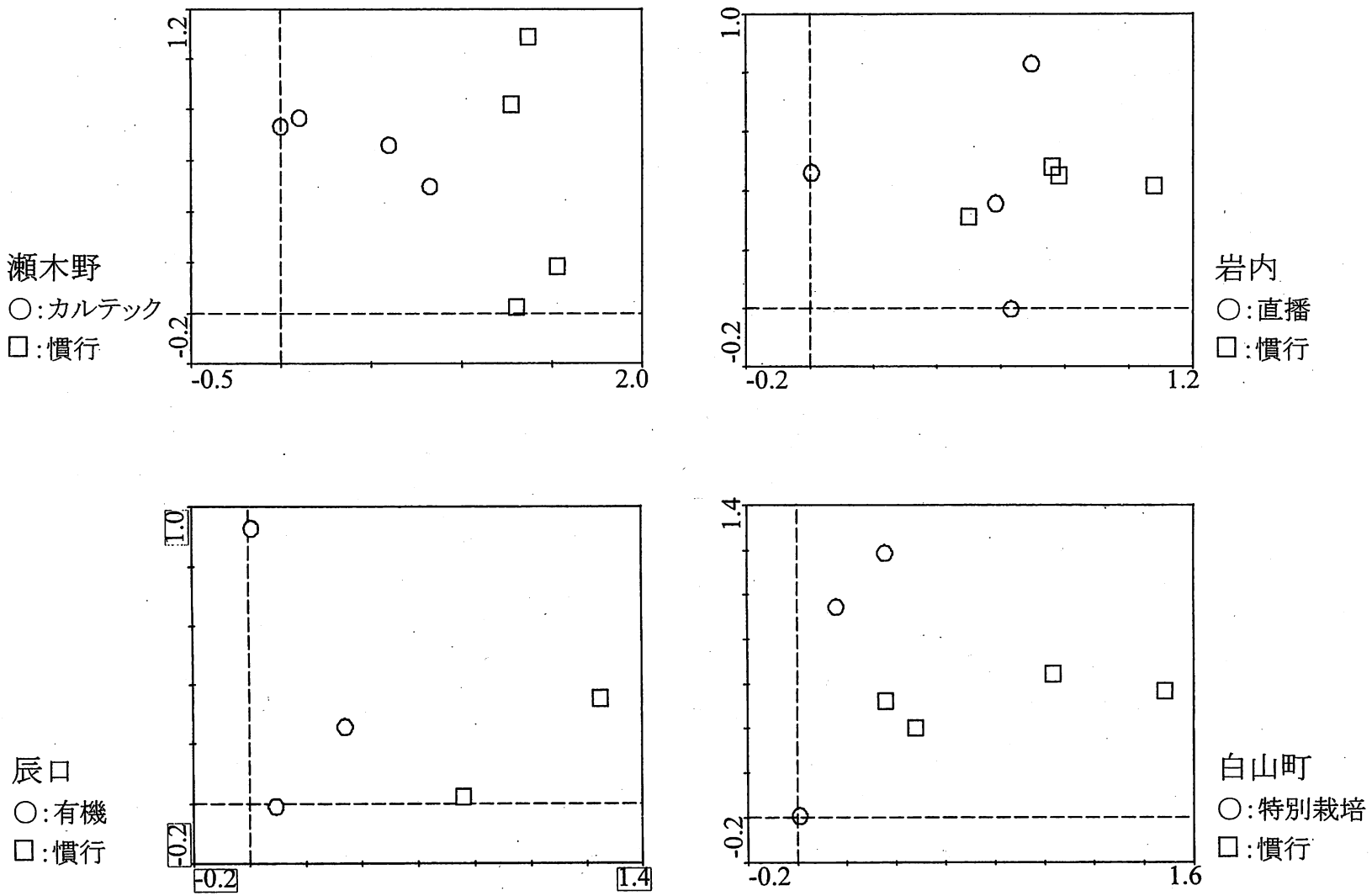
(図21)


(a)
300
200
100
0
採集個体数／100株
P<0.001, r=0.75
(b)
30
20
10
0
クモ目の種数
P<0.001 ,r=0.7
0
1
2
3
4
5
6
畦草刈回数

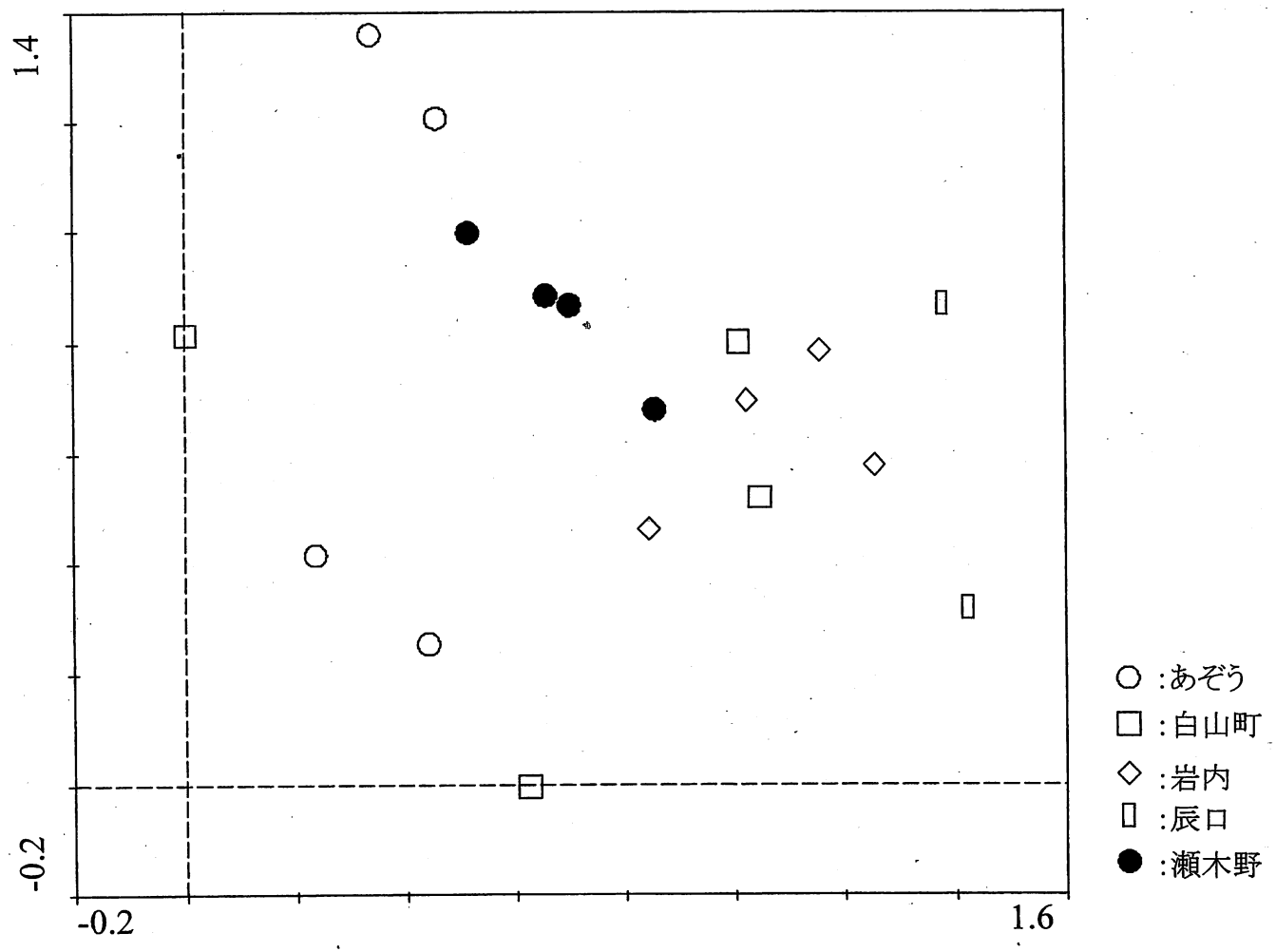
(図22)



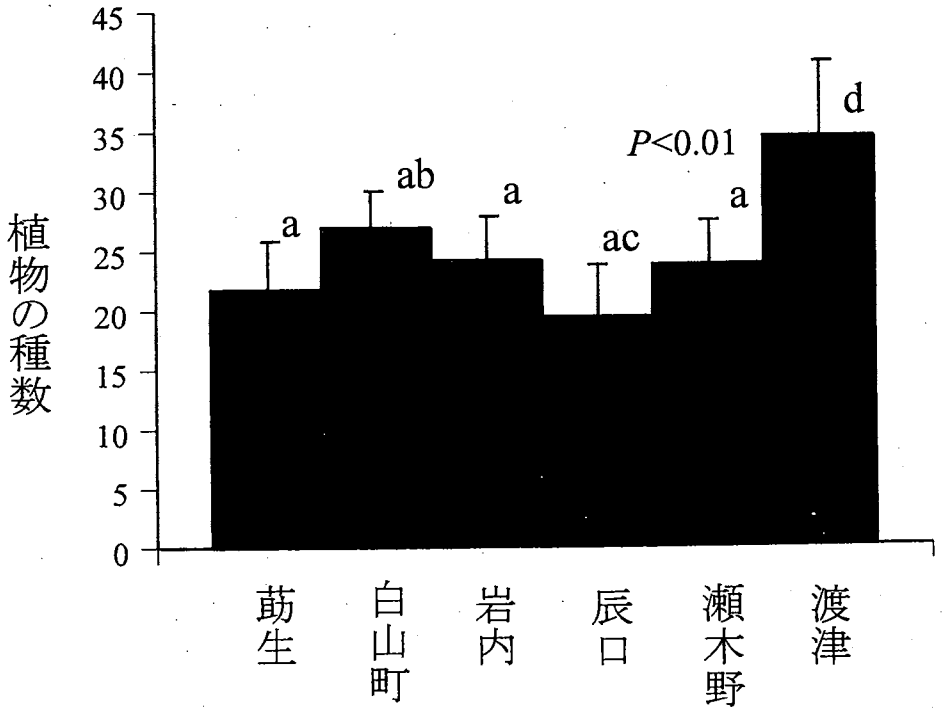
(図23. a)


瀬木野
○:カルテック
□:慣行
1.2
-0.2
-0.5
2.0
岩内
○:直播
□:慣行
1.0
-0.2
-0.2
1.2
辰口
○:有機
□:慣行
1.0
-0.2
-0.2
1.4
白山町
○:特別栽培
□:慣行
1.4
-0.2
-0.2
1.6

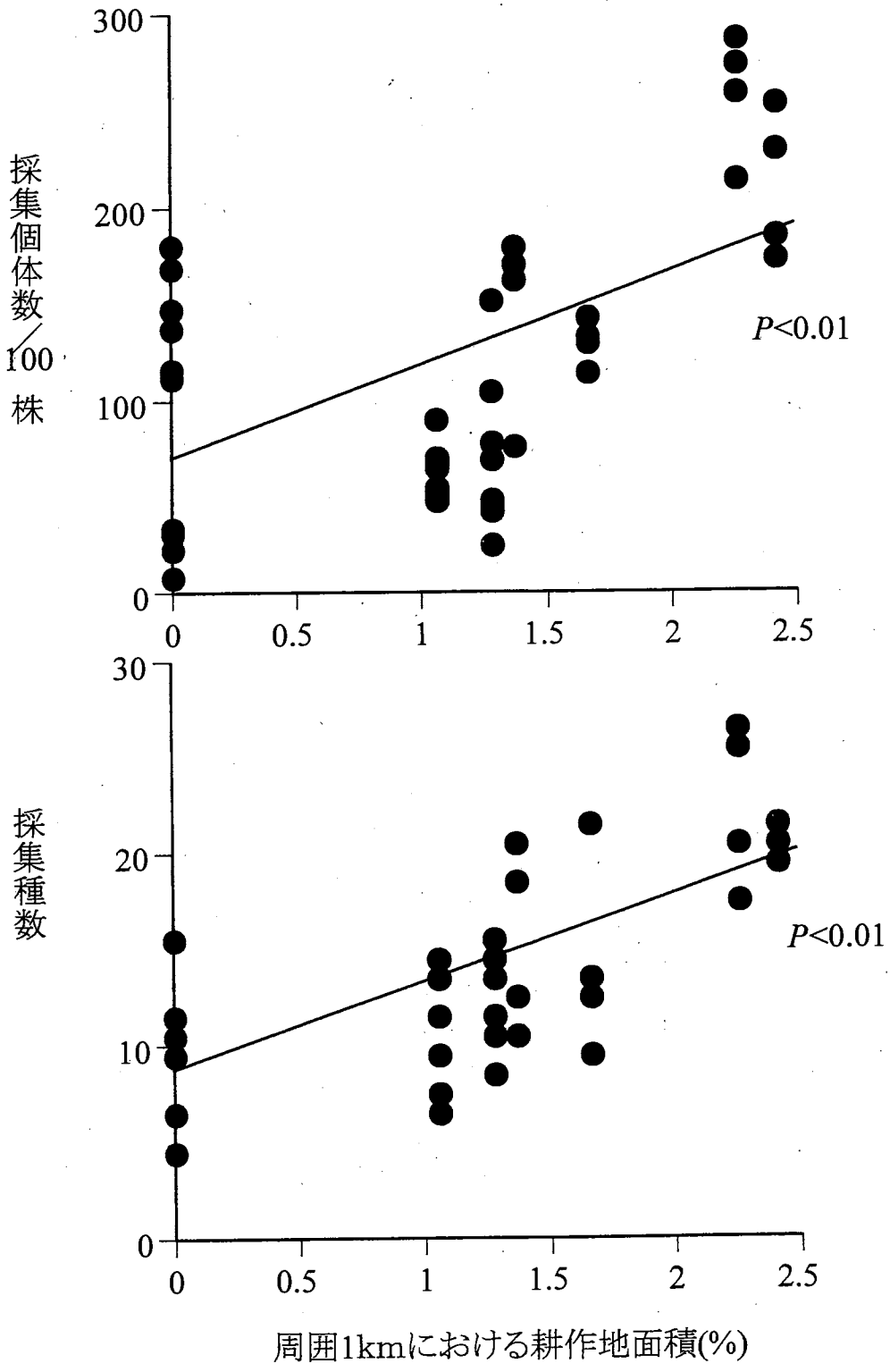
(図23. b)



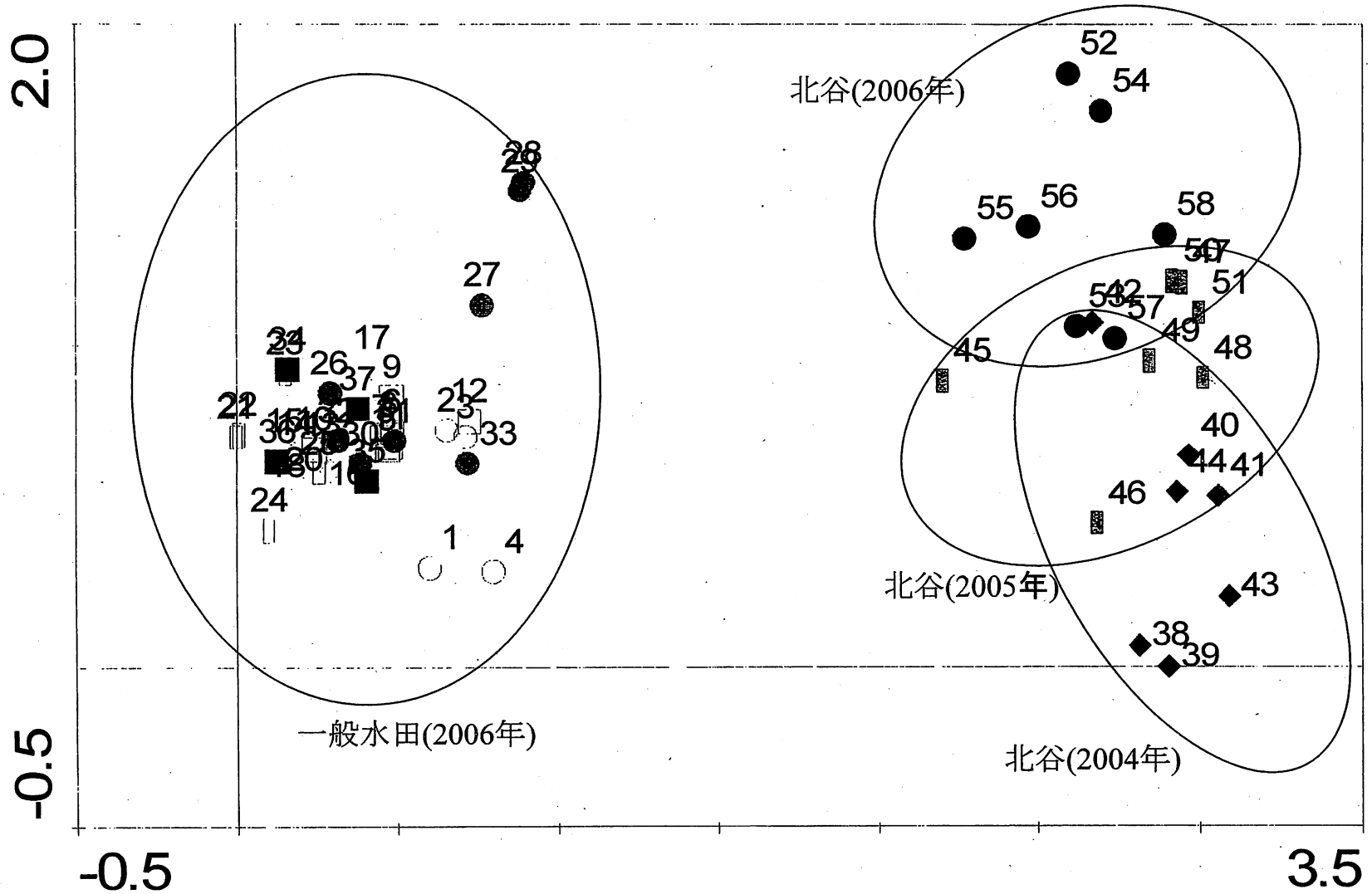
(図24)



(図25)


300
200
100
0
採集個体数/100株
P<0.01
0
0.5
1
1.5
2
2.5
30
20
10
0
採集種数
P<0.01
0
0.5
1
1.5
2
2.5
周囲1kmにおける耕作地面積(%)

(図26)


2.0
-0.5
-0.5
3.5
北谷(2006年)
北谷(2005年)
北谷(2004年)
一般水田(2006年)
52
54
55
56
58
51
57
49
48
45
40
44
41
46
43
38
39
28
29
27
17
26
37
9
12
33
24
1
4

（研究２）Change in diversity and structure of ground arthropod communities during the restoration of satoyama in Kanazawa with special reference to ground beetles (Coleoptera: Carabidae)［金沢の里山の再生過程における地表性節足動物の多様性と群集構造の変化，特に地表歩行性甲虫類（コウチュウ目：ゴミムシ科）］　研究協力者： Linawati（リナワチ）

研究成果概要

里山は，国土の４割を占め，絶滅危惧種の５割が生息しており，生物多様性の保全のうえで重要である．里山は自然との共生，持続的資源利用のモデルケースのひとつであるが，いま日本の里山は，人間の活動や開発による破壊と自然に対する働きかけ不足により危機的状況にある．

本研究では，金沢大学角間キャンパス内の里山ゾーンにおいて，里山の再生過程における地表歩行性の小無脊椎動物の多様性と群集構造の変化を，特に地表歩行性甲虫類（コウチュウ目：ゴミムシ科）に注目して調査した．里山ゾーンからコナラ林，モウソウチク林，スギ林，約30年間放置されていた棚田の復元地等を調査地としてえらび，落とし穴トラップを用いて，2004年と2005年の５月～11 月まで月１回採集を繰り返した．その結果，小無脊椎動物には（１）湿度の高い生息地と乾燥した生息地を選好するものに２分された．（２）再生作業は，生息地を乾燥させるので，その結果，小無脊椎動物の多様性と個体数に変化が生じた．しかし，（３）湿地では，再生作業の有無による差はなかった．ゴミムシ類を対象とした解析の結果，（１）生息環境による種類構成の差が明瞭に検出された．（２）再生作業により種類構成，個体数にはっきりした差が生じた．（３）小型で飛翔力のある種は，再生作業のある湿地で多くなり，大型で飛翔しない種は，再生作業のない湿地に見られた．（４）棚田の再生活動は，ゴミムシ類の種類構成に大きな変化をもたらした．

（研究３）Diversity and structure of flying insect communities in satoyama, with special reference to Diptera［里山における飛翔性昆虫類の多様性と構造，とくにハエ目について］　研究協力者：Trisnawati, Indah （トリスナワチ，インダー）

研究成果概要

Recently, Satoyama, the traditional rural landscape of Japan, has been paid much attention, because, beside many important roles, it is a key to biodiversity conservation in Japan. Effects of habitat heterogeneity and restoration activities on abundance and diversity of above-ground arthropod assemblages were studied using window traps in the "satoyama area" within Kanazawa University's Kakuma Campus, Kanazawa, Japan in 2005 and 2006. Monthly samples were taken at upper and ground levels from nine sites, including forested areas and valley areas with paddies under restoration. A total of 93,134 individuals in 24 orders, including 18 Insecta orders, 3 Arachnida, 2 Crustacea and 1 Chilopoda, were collected during the study, and an order level analysis was carried out. At upper level, Diptera was the most dominant (70%), followed by Homoptera and Coleoptera (5-10 %), and at ground level, Diptera (40%), Collembola (10%) and ant (8%) were dominant. DCA ordination revealed a clear separation of arthropod order compositions among different habitat types and between upper and ground levels, but less apparent between years. DCA ordination of 18 orders revealed the variation of spatial distribution of these orders accordance to habit ("flying" or "non-flying") and habitat preference ("forested" or "cultivated valley" sites). In this study, special attention was paid to Diptera, most dominant order, represented by 50 families, and to the species in Phoridae, which was 9th abundant in Diptera and composed of 26 species. DCA ordinations were carried out at at familiy level in Diptera and at species level in Phoridae and similar or more distinct results to those of order level were obtained.

本研究では，金沢大学角間キャンパス内の「里山ゾーン」において，飛翔性の昆虫類を中心とした節足動物相の個体数と多様性に及ぼす環境の異質性（植生，地形等）と保全活動の影響を調査するために，IBOY 式ウィンドウ・トラップ（透明衝突板付き黄色バケツトラップ）を上層（地表から 10～15m）と下層（同 1.5m）に設置し，2005 年と 2006 年に，両年とも６月～11 月まで毎月１回，森林内（林内区，４カ所）と谷間の棚田復元地（棚田区，５カ所）において採集した．

［結果］（１）目レベルの解析．①合計 93134 個体（24 目，うち昆虫綱 18 目，

クモ綱２目，甲殻綱１目，ムカデ綱１目）を採集した．②上層では，Diptera が最優占し（70%），それに次いで Homoptera と Coleoptera（5-10 %）が多かった．下層では Diptera（40%），Collembola（10%），アリ（8%）が優占した．③DCA（除歪対応分析）解析をしたところ，採集された節足動物の目の組成に差により，林内区と棚田区に分割された．また上下層から採集された目の組成にも差がみられた．しかし年間差は検出されなかった．④上位 18 目の空間分布（調査地間分布）を DCA 解析したところ，４グループに分割され，それは飛翔性の有無（"flying" or "non-flying" orders），林内で多く採集されるか，棚田多く採集されるか（"forested" or "cultivated valley" orders）の違いを反映していた．

（２）科レベルの解析．①最優占目である Diptera に含まれていた 50 科が含まれていた．②上層では，Sciaridae（40%）が最多であり，Mycetophilidae（2-7%），Bibionidae（1-9%），（5-8%），Chloropidae（5-6%）が多く，下層では，Sciaridae（20-30%），Dolichopodidae（11-13%），Cecidomyiidae（9-13%），Chironomidae（8-11%）が多かった．③Diptera の各科を対象とた DCA 解析によれば，林内区と棚田区の科組成の差がみられ，上層と下層，またさらに，林内区はさらに「コナラ，コナラ・アベマキ」，「竹林」，「スギ林」，「コナラ・ササ」に再分割された．棚田区の「ヨシ」，「水田」の上層には年次差が検出された．④上位 17 科の空間分布（調査地間分布）を DCA 解析したところ，これらの科は数グループに分割された．

（３）種レベルの解析．①Diptera のなかで９番目に個体数の多かった Phoridae（2269 個体採集）に含まれていた 26 種を対象として種レベルの解析を行った．②Phoridae は上層で多く採集され，*Megaselia* spp.（90%），*Plethysmochaeta nobilis*（1-4%）*Pseudacteon* sp.（about 0.6%）が多く，下層では，*Megaselia* spp.（80%），*Chonocephalus* sp.（5-7%），*Dohrniphora cornuta*（about 0.2%）が多く採集された．③種レベルの DCA 解析では，調査地間の種構成の差は，はっきり検出されなかったが，層間の差は明瞭であった．「池」，「ヨシ」の下層では年間差が検出された．④上位 11 種の空間分布（調査地間分布）を DCA 解析したところ，数グループに分割されたが，明瞭ではなかった（種あたり個体数が少なかったからかもしれない）．⑤Phoridae に属する種は多くのギルドに分かれ，微細な生息地利用を行っているようであり，さらに種レベルの解析の進捗が期待される．しかし，Megaselia には未同定種が多く，分類研究の進展が必要である．

（４）調査地の特色．①林内区の上層では，Diptera のうち，Sciaridae, Mycetophilidae, Bibionidae の群飛（swarming）が特定調査地で見られた．また，Phoridae, *Megaselia* spp. は特定の林内区に多かった．②棚田区には林内区よりも，分類群あたりの個体数は少ないが，多様な分類群が採集され，個体数の少ない科，希少種や１個体しかとれなかった Phoridae 種が多く見られた．このことは棚田区の保全活動により種多様性が増加していることを示す．

（５）生態ギルド構造．①Diptera には， saprophagous (S)，saprophagous と mycetophilous (S/M)，mycetophilous，(M)，saprophagous と parasitoid (S/PI)，phytophagous (PP)， parasitoid (PI)，predator/parasite (PR/PS) の７ギルドが見られた．林内区は，棚田区よりも多くの S/M, M， S が見られ，PR/PS と S は棚田区に多かった．②Phoridae には，主に M, P, S， PP の４ギルドが見られ，林内区には S が多く，棚田区には P と PP が多かった．