

温帯性メシダ属 2 種 (ヘビノネゴザとイヌワラビ) の頻度と共存率
— 日本列島から松本市周辺へのスケーリング解析 —

福原 隆¹・山本雅道²・佐藤利幸³

¹信州大学大学院工学研究科地球生物圏専攻

²信州大学理学部物質循環学科

³信州大学理学部生物科学科

A scaling analysis of frequency and coexistence of two common *Athyrium* species
from Japan Archipelago to Matsumoto (Central Japan)

Takashi Fukuhara¹, Masamichi Yamamoto² and Toshiyuki Sato³

¹ Earth-Biosphere Course, Graduate School of Shinshu University,
Matsumoto 390-8621

² Department of Environmental Science, Faculty of Science, Shinshu
University, Matsumoto 390-8621

³ Department of Biology, Faculty of Science, Shinshu University,
Matsumoto 390-8621

Synopsis: Frequency and coexistence of two common *Athyrium* species were surveyed from Japan to Matsumoto (central Honshu) scaling. The survey scales range from 1000 km x 2000 km with 80 km x 80 km grids to 5 km x 5 km with 0.16 km x 0.16 km grids, i.e., from Japan Archipelago to northern Matsumoto city. The coexistence sites gradually decrease from Nagano Prefecture scale with 10 km x 10 km grids to the smaller scales. The relative frequency of the *A.yokoscense* rapidly decreases at Matsumoto city scale of 20 km x 20 km with 1.25 km x 1.25 km grids. Microhabitat of *A.niponicum* shifts to town environment in contrast to that of *A.yokoscense* which prefers open sites at forest edge of mountain regions. Habitat heterogeneity of both species is clearly demonstrated at Matsumoto plane scale with 2.5 km x 2.5 km grids which also show the higher fractal dimension (about 2.0).

Key words: *Athyrium*, Coexistence, Frequency, From Japan to Matsumoto, Grids, Scales.

Correspondence address: Toshiyuki Sato, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, 390-8621

はじめに

さまざまなスケール（範囲）における植物の分布頻度を求め、植物多様性を維持できるスケールを特定する試みがいくつか示されている。それをもとに現在の植物分布を解析し、スケールに応じた分布密度から回帰直線を求め、絶滅をふせぐためにどれだけの広がりが必要であるかをシミュレートした例がイギリスで検討された(Kunin, 1998)。一方、ある地域で共存する近縁種の広がり、対象範囲を拡大することでどのように出現頻度が増えるかを地球レベルまで比較する試みも示されている (Sato and Takahashi, 1996)。それによると、北日本から東ユーラシア、北半球のひろがりのなかで、極東ロシアの沿海州を中心にした約 1000 km x 1000 km も範囲で両種（ウサギシダとイワウサギシダ）の共存頻度が減少する軌跡が得られた。両種の生育場所の分化が、その 1000 km x 1000 km の範囲に顕在化したことになる。

このように、地域レベルの情報を地球レベルで再検討する新しいスケール解析がシダ植物を中心にいくつかの地点で開始された (佐藤、1995)。この方法は、決まった範囲を解析精度 (resolution) を変えることで得られてきた従来のフラクタル次元や分布パターンの解析 (M*M や I デルタなど) とは異なったスケール解析の一つである (佐藤・長谷、1995)。区画 (メッシュ) 数をほぼ同一にして調査範囲を広げる方法である。これは地球上のあらゆる地点に原点をおくことが可能である。一方、解はひとつであることから統計処理を行うことはできない。すなわち究極的には個性あるいは場を特徴づける方法である。同所的に生育する複数種が異なる範囲 (地球レベル) でいかなる広がりを持ち、グローバルな視点からみた場 (同所) の位置付けを可能にする方法とも言える (Sato and Takahashi, 1996)。

本研究では同属植物の生育場所がいかなるスケールで、種特異的な環境異質性に対応しているかを特定することを目的とする。ここでは日本に広く分布しその範囲も似通った種群について比較した。ここではヘビノネゴザとイヌワラビをとりあげ、対象範囲に応じて分布頻度と共存率いかに変わるかについて、文献ならびに現地調査に基づき解析した。一般に植物の分布は種ごとに異なる。完璧な種依存性のある寄生物でない限り、異なる種は必ず時間的・空間的 (生育範囲や生育場所) に特異性があるからである。広い空間配

置の特性が導かれるためには長い時間スケール (歴史) が裏打ちされる場合が多いと言われる (Hollings, 1992)。

ここでは以下の3視点から解析を行い、頻度変化のスケールの特定を目的にした。(1) 同一範囲のメッシュサイズの違いによる出現頻度の変化、(2) 10 のスケールに応じた、2種の頻度と共存率の変化、および(3) それぞれの種と共存するシダ種数の度数分布である。

材料および方法

日本レベルでみると、九州から北海道の暖温帯と冷温帯に広く、普通に分布するメシダ属にヤマイヌワラビとヘビノネゴザがある。基本的にはやや明るい林縁に生育するシダ植物である。わずかにイヌワラビのほうが湿った日陰を好むようである。生育標高も 1000 m 以下が多い。ヘビノネゴザはイヌワラビに比べ若干高地 (2000m 付近) まで分布しているようである。イヌワラビはより人家の近くまで分布する。中部山岳地域におけるヘビノネゴザは標高 300m から 2000m にかけて分布し、イヌワラビは標高 300m から 1500m 程度であろうか (長野県植物誌、1996)。いずれも明るい林縁に生育場所の中心がある。若干イヌワラビにほうが湿った場所を好むようである。

ヘビノネゴザの成熟葉は 10-50 cm の葉身の変異幅をもち、葉柄を含めた葉の長さは 20-70 cm にも達する。一般に葉形はサイズに応じて変化し、小さい段階では細長い被針形を示し、大きくなると次第に三角形にちかづき、葉柄も長くなる。詳しく解析すると、小さな段階では下部羽片が短く単純で、中ほどの羽片で最大の長さとなり、羽軸分岐数をもつ。大きな葉では最大羽片の位置が次第に下部に移動し、葉身全体として二等辺三角形から三角形にちかづく。ヘビノネゴザは個体内で株あたり最大 20 枚の葉をもつ。葉の個体内における相対的なばらつきは葉の長さ (葉身+葉柄) が 30 cm 程度で減少する (図 1a)。ヤマイヌワラビは紫色の葉柄と中軸に近い羽辺の基部まで紫色となり、葉全体としてはやや濃い緑色であり、葉身の先が急に細くなる。それに比べるとヘビノネゴザの葉身は黄緑で、葉身は次第に細くなり、全体としてとがった印象を与える。小羽片もとがった平行四辺形の基本形からなる。葉柄は緑から藁色である (図 1b)。

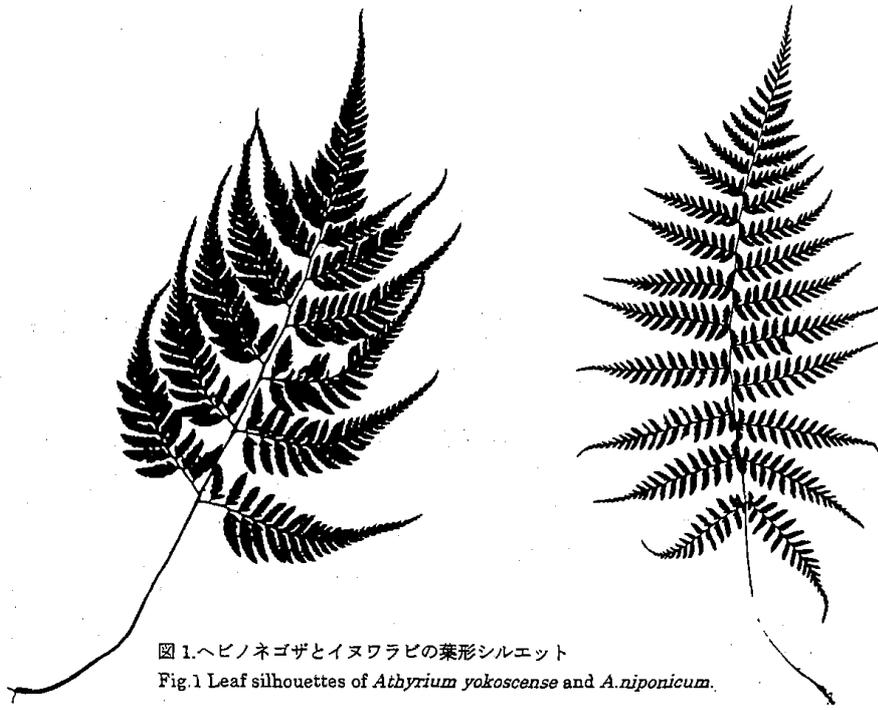


図1.ヘビノネゴザとイヌワラビの葉形シルエット
 Fig.1 Leaf silhouettes of *Athyrium yokoscense* and *A. niponicum*.

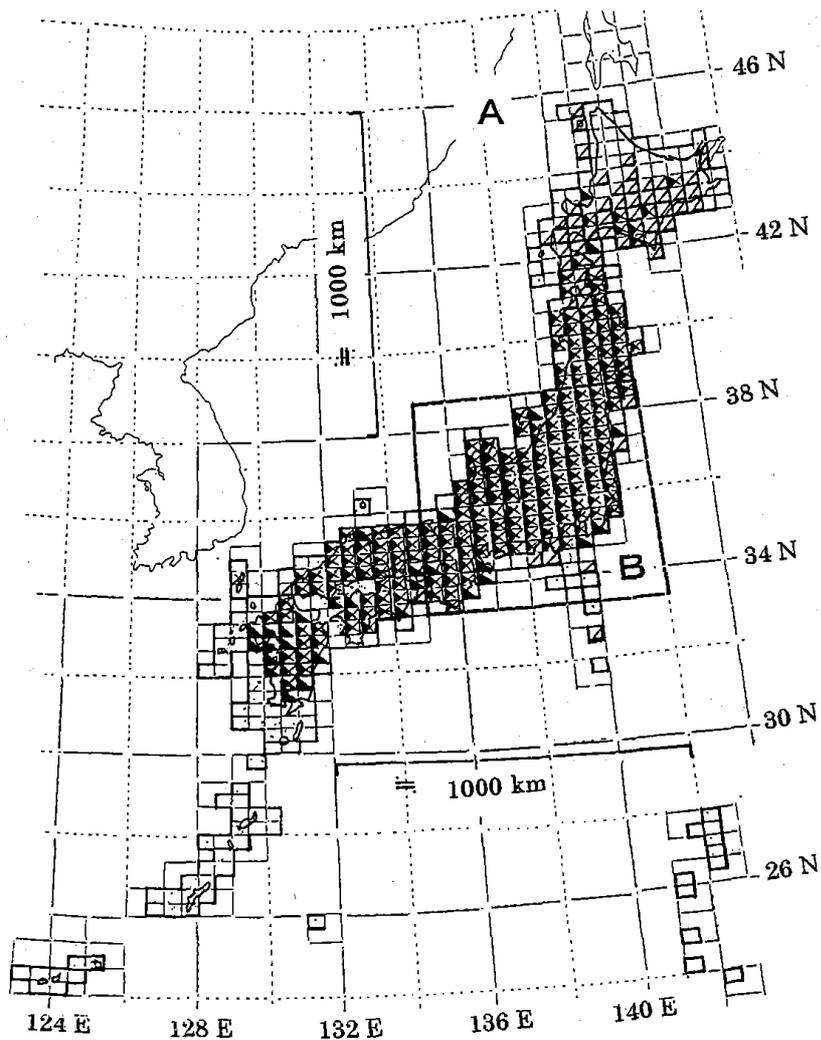


図2.日本スケールにおけるヘビノネゴザ・イヌワラビ・共存地点の分布
 Fig.2 Spatial distribution patterns of *Athyrium yokoscense*(□), *A. niponicum*(▲) and the both (⊠) in Japan scale with 80kmx80km grids.

表1. 日本から松本周辺へのヘビノネゴザとイヌワラビの出現頻度と共存率。

Table 1. Frequency and coexistence of *Athyrium yokoscence* and *A. niponicum* from Japan to Matsumoto scales.

| 記号: 範囲 | A: 日本列島 | | | B: 本州中央 | | | C: 中部地方 | | | D1: 長野県 | | |
|--------|-----------|------|------|---------|-----|------|---------|------|------|---------|------|------|
| 約kmxkm | 2000x2500 | | | 600x600 | | | 200x400 | | | 100x200 | | |
| 区画辺kmX | 160X | 80X | 40X | 80X | 40X | 20X | 40X | 20X | 10X | 20X | 10X | 5X |
| 可能区画数 | 58 | 157 | 439 | 43 | 140 | 467 | 50 | 182 | 719 | 49 | 174 | 611 |
| 調査区画数 | 58 | 157 | 439 | 43 | 140 | 467 | 50 | 182 | 719 | 38 | 109 | 205 |
| (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ヘビノネゴザ | 6 | 20 | 53 | 3 | 5 | 25 | 0 | 11 | 140 | 9 | 37 | 84 |
| (%) | 10.3 | 12.7 | 12.1 | 7 | 3.6 | 5.3 | 0 | 6 | 19.5 | 23.7 | 33.9 | 41 |
| 2種共存 | 28 | 73 | 203 | 32 | 112 | 339 | 45 | 149 | 380 | 27 | 52 | 60 |
| (%) | 48.3 | 46.5 | 46.2 | 74.4 | 80 | 72.6 | 90 | 81.9 | 52.9 | 71.1 | 47.7 | 29.3 |
| イヌワラビ | 3 | 8 | 26 | 4 | 9 | 46 | 2 | 5 | 109 | 0 | 16 | 51 |
| (%) | 5.2 | 5.1 | 5.9 | 9.3 | 6.4 | 9.9 | 4 | 2.7 | 15.2 | 0 | 14.7 | 24.9 |
| 未確認 | 21 | 56 | 157 | 4 | 14 | 57 | 3 | 17 | 90 | 2 | 4 | 10 |

| 記号: 範囲 | D2: 長野県(実) | | | E1: 長野県中央 | | | E2: 長野県中央(実) | | | F: 松本平周辺(実) | | |
|--------|------------|------|------|-----------|------|------|--------------|------|------|-------------|------|-------|
| 約kmxkm | 100x200 | | | 80x80 | | | 80x80 | | | 40x40 | | |
| 区画辺kmX | 20X | 10X | 5X | 10X | 5X | 2.5X | 10X | 5X | 2.5X | 5X | 2.5X | 1.25X |
| 可能区画数 | 49 | 174 | 611 | 63 | 236 | 916 | 63 | 236 | 916 | 64 | 256 | 1024 |
| 調査区画数 | 27 | 55 | 107 | 63 | 102 | 65 | 28 | 44 | 54 | 36 | 41 | 71 |
| (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ヘビノネゴザ | 3 | 15 | 30 | 14 | 42 | 15 | 7 | 9 | 14 | 9 | 10 | 16 |
| (%) | 11.1 | 27.3 | 28 | 22.2 | 41.2 | 23.1 | 25 | 20.5 | 25.9 | 25 | 24.4 | 22.5 |
| 2種共存 | 19 | 29 | 33 | 30 | 35 | 25 | 15 | 21 | 25 | 18 | 16 | 24 |
| (%) | 70.4 | 52.7 | 30.8 | 47.6 | 34.3 | 38.5 | 53.6 | 47.7 | 46.3 | 50 | 39 | 33.8 |
| イヌワラビ | 2 | 5 | 26 | 5 | 19 | 16 | 3 | 7 | 6 | 7 | 11 | 20 |
| (%) | 9.4 | 9.1 | 24.3 | 7.9 | 18.6 | 24.6 | 10.7 | 15.9 | 11.1 | 19.4 | 26.8 | 28.2 |
| 未確認 | 3 | 6 | 18 | 14 | 6 | 9 | 3 | 7 | 9 | 2 | 4 | 11 |

| 記号: 範囲 | G: 松本市周辺(実) | | | H: 松本市(実) | | | I: 松本市中北部(実) | | | J: 浅間温泉周辺(実) | | |
|--------|-------------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| 約kmxkm | 20x20 | | | 10x10 | | | 5x5 | | | 2.5x2.5 | | |
| 区画辺kmX | 2.5X | 1.25X | 0.63X | 1.25X | 0.63X | 0.31X | 0.63X | 0.31X | 0.16X | 0.31X | 0.16X | 0.08X |
| 可能区画数 | 64 | 256 | 1024 | 64 | 256 | 1024 | 64 | 256 | 1024 | 64 | 256 | 1024 |
| 調査区画数 | 21 | 43 | 86 | 30 | 71 | 131 | 44 | 88 | 188 | 37 | 89 | 102 |
| (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ヘビノネゴザ | 1 | 2 | 8 | 0 | 5 | 8 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| (%) | 4.8 | 4.7 | 9.3 | 0 | 7 | 6.1 | 6.8 | 4.5 | 2.1 | 5.4 | 2.2 | 2 |
| 2種共存 | 12 | 20 | 20 | 17 | 17 | 17 | 11 | 12 | 14 | 6 | 8 | 12 |
| (%) | 57.1 | 46.5 | 23.3 | 56.7 | 23.9 | 13 | 25 | 13.6 | 7.4 | 16.2 | 9 | 11.8 |
| イヌワラビ | 7 | 15 | 28 | 9 | 21 | 33 | 13 | 19 | 22 | 11 | 13 | 14 |
| (%) | 33.3 | 34.9 | 32.6 | 30 | 29.6 | 25.2 | 20.3 | 21.6 | 11.7 | 29.7 | 14.6 | 13.7 |
| 未確認 | 1 | 6 | 30 | 4 | 28 | 73 | 17 | 53 | 148 | 18 | 66 | 74 |

A-J: 対象範囲を示し、図1-6に対応している。

A、B、C、D1、E1は文献および追加資料(佐藤、未発表)による。

D2、E2、F、G、H、I、J は本研究のための、調査資料(佐藤、未発表)にもとづく。

解析方法

日本列島・日本中央から中部地方までの両種の分布は既存の資料(倉田・中池、1980:1981)をもとに解析した。北海道の資料は佐藤(1999)の資料を追加して分布図を作成した。長野県・長野県中央から松本市周辺の資料は佐藤により1996-1999に調査されたものを解析した。調査区画数と確認区画数、共存区画数をヘビノネゴザとイヌワラビについて、10のスケールにおいて検討した。

さらに同一範囲の資料に基づき、3つの区画サイズに応じた頻度を指数グラフに図示した。右下がりな急なほどフラクタル次元は高いことになる。次元が高いほど、そのスケール近傍における生育環境の範囲が狭まることが予想できる。最後にヘビノネゴザまたはイヌワラビ、両種が確認できた地点およびいずれも確認できない地点における平均シダ種数を算出した。対象にした地点は1996-1999年の佐藤の資料(約240地点)に基づく。各地点はおおよそ100m x 100mの範囲内である。

結果

表1には日本列島から松本周辺までの、スケールに応じた2種の出現頻度と共存率を示した。日本列島全域では共存率が45.6%である。本州中央部および中部地方では80-82%にも達する。長野県まで範囲を狭めると共存率は48-53%となる。日本列島スケールの2種の分布を比較するとわずかではあるが、ヘビノネゴザのほうが北に偏る(図2:A・B)。一辺約40km(10分緯度、15分傾度)の区画あるいは一辺約20km(5分緯度、7.5分傾度)にもとづく本州における2種の分布は殆どが重なる(図3:B・C)。文献情報をもとに中部地方を中心に示したのが図4である。若干の未確認地域が現れるが、共存地域が多い(図4:C)。長野県および長野県中央部の分布を資料に実測情報を加えて解析した。個別の種類および未確認の地点が増加する(図5:D・E)。図6は実測情報のみからなる。一地点が2.5km x 2.5kmのメッシュが単位である。未確認地点(丸印)が増加する(図6:E・F・G)。図5も図6も空白メッシュは未調査である。メッシュサイズが約1.25km x 1.25kmの実測資料のみからなるのが図7である。未確認地点が増加し、共存地点が激減する(図7:G・H・I)。本報告で最も詳しい実測資料が図8である。西部に未確認地点が急増する(図8:I・J)。東部には未調査の空白地点が殆どである。調査地点は0.16km x 0.16kmが単位

となっている。図9には表1をもとに出現頻度の相対変化を示した。メッシュサイズが10km x 10km(Dスケール)では共存率の低下(2重丸)が見られ、2.5km x 2.5kmメッシュ(Fスケール)ではイヌワラビの相対出現がヘビノネゴザを大きくこえる(黒三角)。1.25km x 1.25kmメッシュ(Gスケール)ではヘビノネゴザの出現頻度が激減する。0.63km x 0.63kmメッシュ(Hスケール)以下ではイヌワラビが共存域の相対頻度を上回る。

さらに図10には表1をもとに、同一範囲を3つのメッシュサイズに応じた出現頻度を対数軸のもとにプロットした。この3プロットを結ぶ線の傾きからフラクタル次元を予想できる。今回は3つのプロットにすぎないため詳しい計算は省略し、参考資料としたい。定性的な傾向を読み取ると以下ようになる。共存域におけるフラクタル次元にはメッシュサイズに応じた違いが殆どないことである(2重丸を結ぶ2重線)。一方、ヘビノネゴザのみが確認される地点数分布(白三角)は、一辺0.63kmと1.25km、および10kmを中心に顕著な頻度低下(右下がりの負の傾きが顕著で高いフラクタル次元:約1.5-2.0:を示す)が確認される。イヌワラビ(黒三角)ではメッシュサイズの増加に伴い徐々に顕著な頻度低下が見られることである(フラクタル次元が0.1から2.0へ)。範囲内にくまなく分布が見られる場合はフラクタル次元が2.0(負の急勾配)となるから、上記の顕著なメッシュサイズにおいて、種特異的な微環境が顕在化することを意味する。

最後に参考資料としてヘビノネゴザとイヌワラビ、および両種が確認できた実測地点での平均確認シダ種数をあげておく。両種の確認地点の平均シダ種数は 11.71 ± 5.35 (n=51)である。ヘビノネゴザのみが確認できた地点のシダ平均種数は 8.17 ± 4.43 (n=60)、イヌワラビのみが確認できた地点では 7.01 ± 3.87 (n=67)である。いずれもが確認できなかった地点では 3.87 ± 3.06 (n=68)である。

議論

本報告の特徴はメッシュサイズと対象範囲を変える手法と、同一範囲におけるメッシュサイズを変える方法を併用したことである。それによってメッシュサイズの一辺が10km、2.5kmおよび0.63kmにおける特記すべき頻度変化が確認できた。以下に詳しく説明を行いたい。

表1と図9から確認できるように2種の共存率の

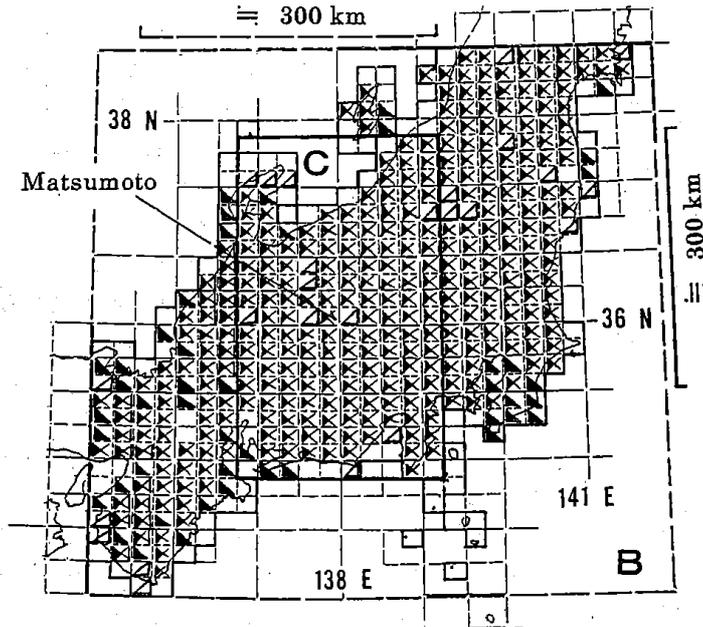


図 3. 日本中央部におけるヘビノネゴザ・イヌワラビ・共存地点の分布。
 Fig.3 Spatial distribution patterns of *Athyrium yokoscense*(△), *A.niponicum*(▲)
 and the both (⊠) in central Japan scale with 40kmx40km grids.

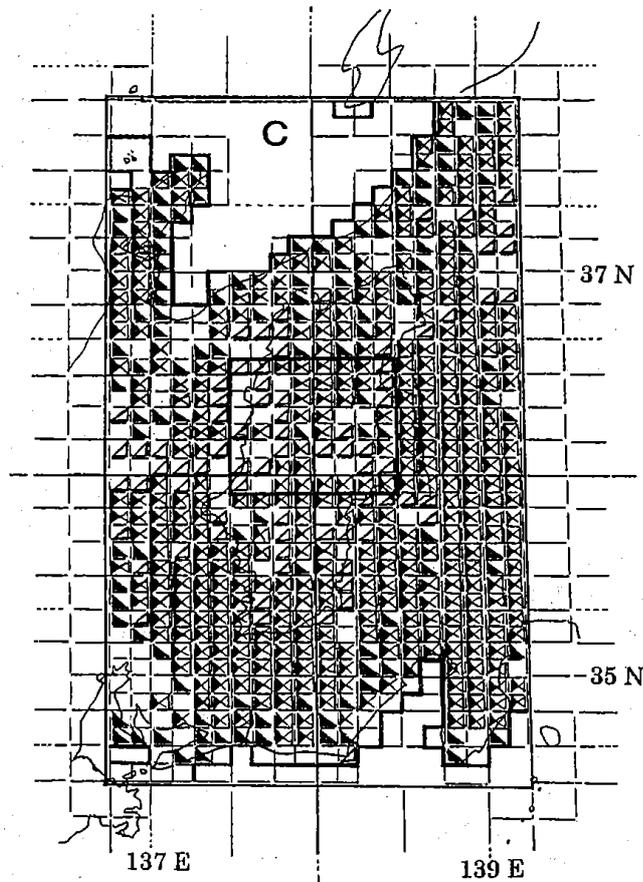


図 4. 中部地方におけるヘビノネゴザ・イヌワラビ・共存地点の分布。
 Fig.4 Spatial distribution patterns of *Athyrium yokoscense*(△), *A.niponicum*(▲)
 and the both (⊠) in Chubu district of Honshu scale with 20kmx20km grids.

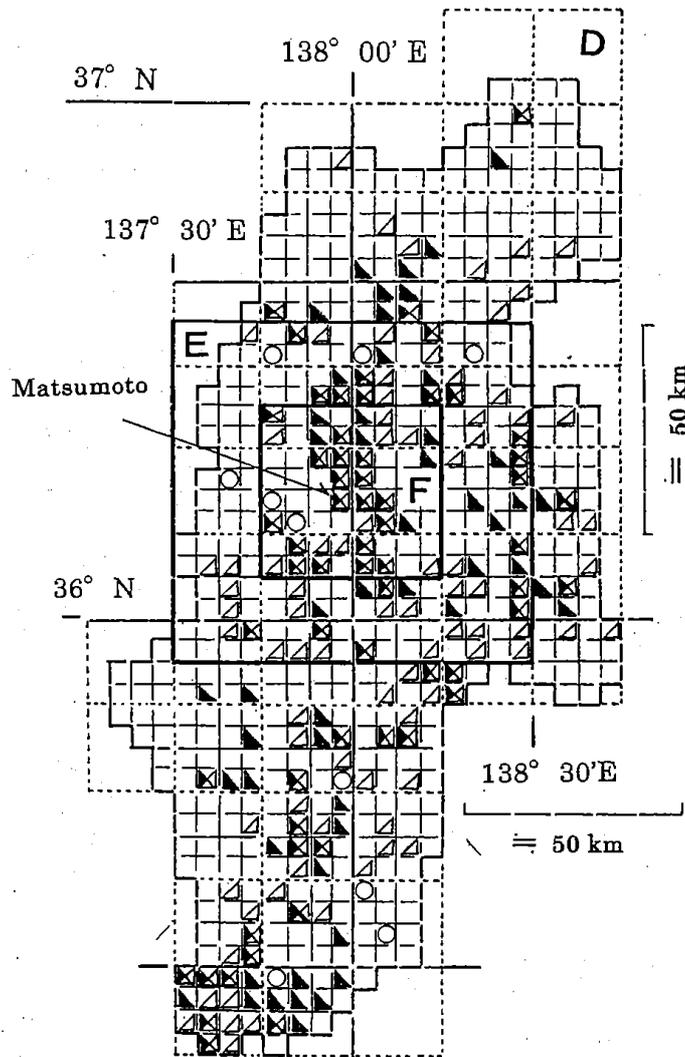


図5.長野県におけるヘビノネゴザ・イヌワラビ・共存地点の分布。
 Fig.5 Spatial distribution patterns of *Athyrium yokoscense*, *A.niponicum*
 and the both in Nagano prefecture scale with 10kmx10km grids.

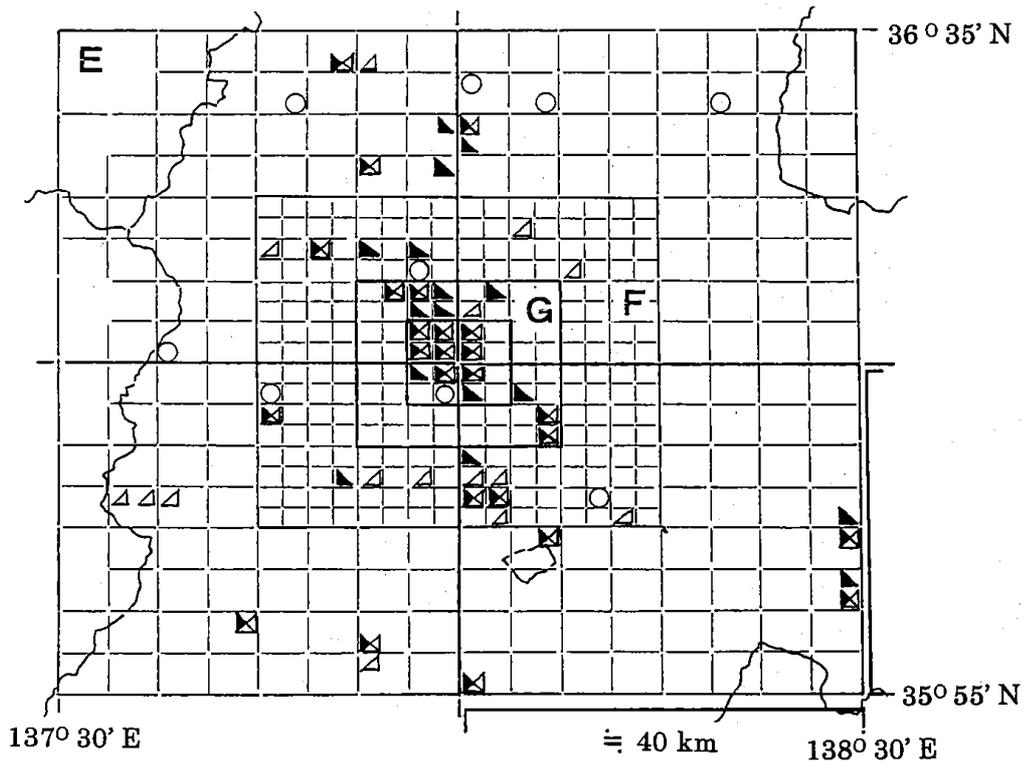


図6.長野県中央部におけるヘビノネゴザ・イヌワラビ・共存地点の分布。
 Fig.6 Spatial distribution patterns of *Athyrium yokoscense*, *A.niponicum*
 and the both in central Nagano prefecture scale with 5kmx5km grids.

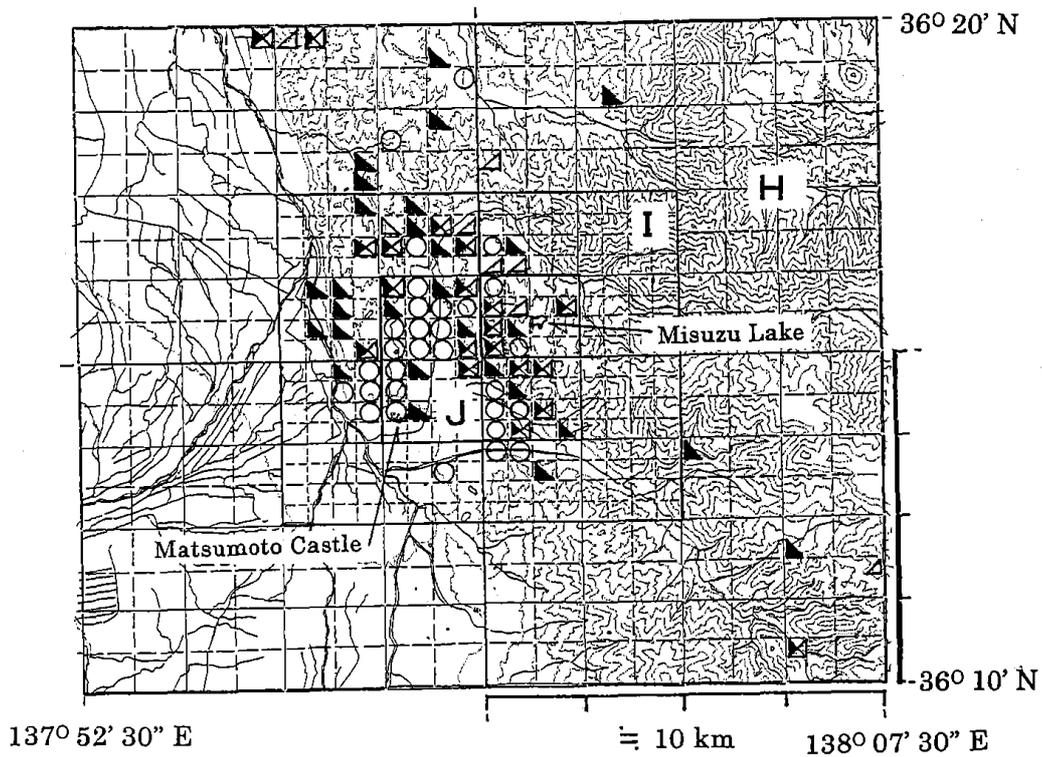


図7.松本市周辺におけるヘビノネゴザ・イヌワラビ・共存地点の分布。
 Fig.7 Spatial distribution patterns of *Athyrium yokoscense*, *A.niponicum*
 and the both in Matsumoto city scale with 2.5kmx2.5km grids.

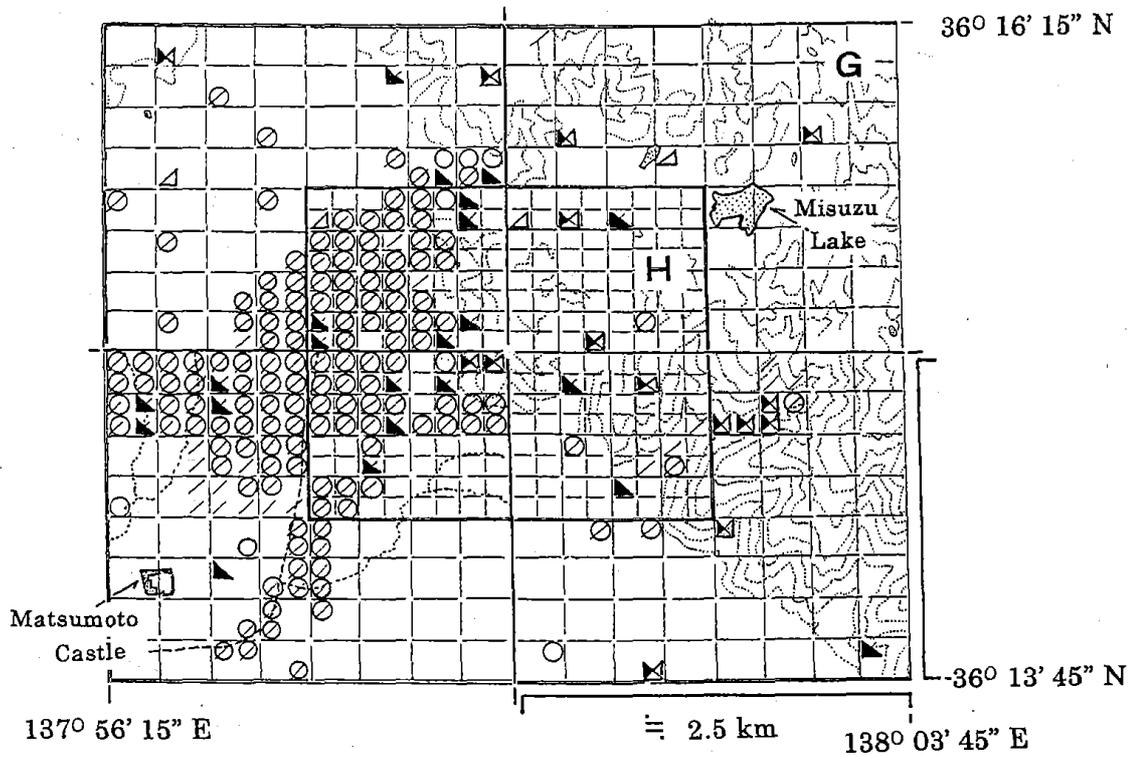


図8.松本市北部におけるヘビノネゴザ・イヌワラビ・共存地点の分布。
 Fig.8 Spatial distribution patterns of *Athyrium yokoscense*, *A.niponicum*
 and the both in Northern Matsumoto city scale with 1.25kmx1.25km grids.

著しい低下は、一辺 10 km の区画 (メッシュ) を基準にした 100 km x 200 km のスケール (範囲) で顕著になる。それ以下のメッシュとスケールでは次第に共存率は低下し、メッシュサイズが 0.63 km x 0.63 km でまた急速な低下が見られる。一辺が 160 m メッシュでは 10% 以下となる。すなわち 10 km x 10 km および 0.63 km x 0.63 km のスケールで顕在化する空間的な環境異質性がヘビノネゴザとイヌワラビの生育場所の分化を導いたことになる。現在のところ、それらメッシュサイズにおいて顕在化する要因 (物理? 生物?) は明確でない。地形要因と関連した土壌要因に異質性が見出せるかもしれない。温度や降水量などのメソスケール要因ではなさそうである。

もひとつのメッシュサイズは 2.5 km x 2.5 km と 1.25 km x 1.25 km である。範囲は 40 km x 40 km と 20 km x 20 km スケールとなる。それらのスケールでヘビノネゴザとイヌワラビの出現頻度が逆転する。ヘビノネゴザの出現頻度が 5% 以下になるのである。実測した調査対象範囲が松本市街地に近づき、森林のある山地域からはずれたことが第一の要因であろう。すなわちイヌワラビは人家の日陰にも生育できることが確認できた。

共存種数は 2 種 (ヘビノネゴザとイヌワラビ) の共存域で 11 種と最も高い。2 種ともない場所では 4 種程度の確認であった。わずか 100 m x 100 m 範囲ではあるが、2 種が共存する場所では他のシダも多様性が高いことがわかる。優位ではないがヘビノネゴザのみが確認できたサイトはイヌワラビのみが確認できたサイトより若干共存シダ種が多い (平均 8 種と 7 種)。このことは、一般的には多くのシダがやや湿地を好むことと矛盾する。なぜならイヌワラビのほうがヘビノネゴザよりもやや湿地を好むからである。松本周辺や長野県中央部においては、ヘビノネゴザの生育場所を好むシダがよく見られると判断すべきであろう。夏の気温に関する限り、高い温量指数をもつ松本盆地 (平) ではあるが、降水量と冬の寒さと積雪の少なさがササをはじめ湿地型のシダの種数がやや少ないことと関連がありそうである (佐藤ら、1997a)。北海道におけるヘビノネゴザとイヌワラビの分布は太平洋側 (南部) に偏る。さらに頻度はヘビノネゴザが高く、やや北まで広がる (佐藤・長谷、1989)。もとより松本周辺のシダフロラは日本列島スケールから見ると、北東要素が 70% を占める。このことはイヌワラビよりもヘビノネゴザと共存するシダ植物が、若干種数が多いことと矛盾はない (佐藤ら、1997b)。低地の熱帯

林における狭い範囲ではシダ植物の種数は多くない。亜寒帯針葉樹の林床と同じ程度かそれ以下のシダ種数しか確認できない。5 m x 5 m x 5 m 程度の空間で最もシダ植物が多く確認できたのは紀伊半島南部の暖温帯林縁である (15-20 種) (Sato et al., 2000a; 2000b)。本研究ではイヌワラビとイヌワラビ両種と共存するシダ種数は約 11 種であった。面積は約 1 ヘクタールであるから、冷温帯や熱帯多雨林の林床の種数に相当する (Sato et al., 2000b)。日本の暖温帯 (和歌山・三重) では恐らく平均 30 種 (多いところでは 50 種) にも達するであろう。

参考文献

- Charkevicz, S.S. 1991 Plantae Vasculares Orientis Extremi Sovietici. Tomus 5. Petropolis <Nauka>.
- Ehrlich, P.R. and Wilson, E.O. 1991 Biodiversity Studies: Science and Policy. Science, 253: 758-762
- Holling, C.S. 1992 Cross-scale morphology, geometry, and dynamics of ecosystems. Ecological Monographs 62:447-502.
- Kunin, E.W. 1998 Extrapolating species abundance across spatial scales. Science 281: 1513-1515.
- 倉田 悟・中池敏之 1979 日本産シダ植物図鑑 I 東京大学出版会 598pp.
- 大塚孝一 1987 長野県のシダ植物 信毎書籍出版センター 長野。
- 長野県植物誌編纂委員会 1997 長野県植物誌 (清水建美 監修) 信濃毎日新聞社 長野。
- Page, C.N. 1979 Experimental biology of ferns. Cambridge University Press, 1-50pp.
- Parris, B.S., Beaman, R.S. and Beaman, J. H. 1992 The plants of Mount Kinabalu I. Ferns and fern allies. Royal Botanic gardens Kew 165pp.
- 阪口寿子・佐藤利幸 1999 隔離分布する寒地性シダ (イワカゲワラビ) をとりまく森林構造の解析 環境科学年報—信州大学— 21 : 43-54.
- 佐藤利幸 1999 シダ植物からみた北海道。北方山草 16 : 39-51.
- Sato, T. 1993 A quantitative comparison of pteridophytes flora between eastern Siberia and northernmost Japan—changes in frequency with scaling—. Proceedings of first symposium on joint Siberian permafrost studies between Japan and Russia (ed. Masami Fukuda).

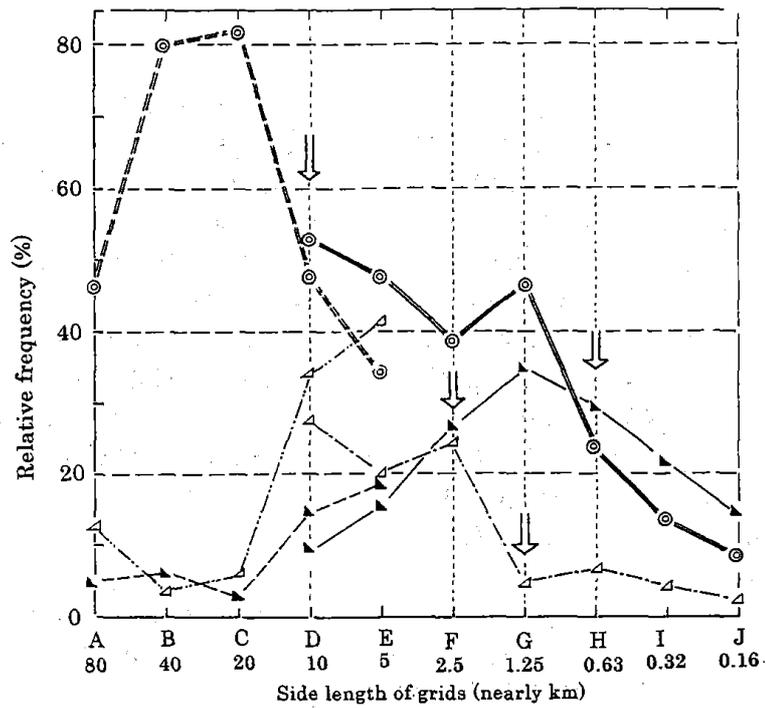


図 9.スケールに応じたヘビノゴザ・ヤマイヌワラビ・共存地点の相対出現頻度の軌跡。
 Fig.9 Trajectory of relative frequency of *Athyrium yokoscense*, *A.niponicum* and the both with scaling from Japan to Northern Matsumoto.

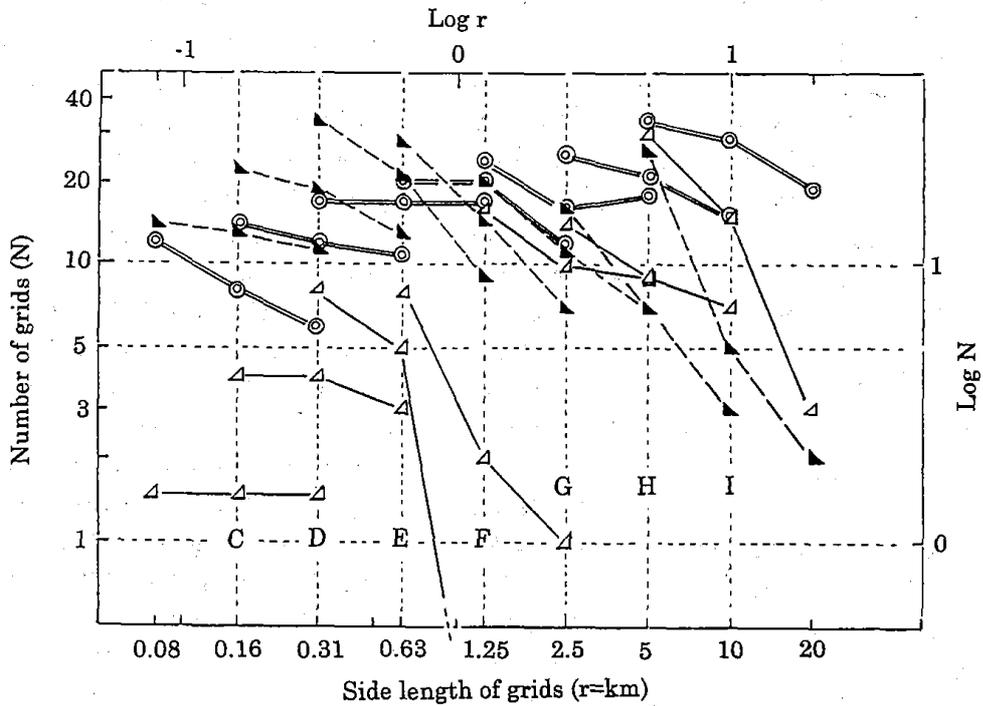


図 10.同スケールにおける 3 メッシュサイズに応じたヘビノゴザ・ヤマイヌワラビ・共存地点の頻度分布軌跡 (フラクタル次元の推定)。
 Fig.10 Trajectory of frequency of *Athyrium yokoscense*, *A.niponicum* and the both with 3 resolutions on scales from Central Japan to Matsumoto city for estimation of Fractal dimension.

75-81.

佐藤利幸 1995 スケーリング解析による北海道3地域からのシダ植物の多様性。平成4-6年度文部省特定研究経費研究成果報告書(小林大二編)、北海道大学、札幌、239-255。

佐藤利幸・長谷 昭 1989 北海道南部におけるシダの種数分布と植物相—その定量比較の試み—。生物教材 24: 1-12。

佐藤利幸・工藤 岳・露崎史郎・甲山隆司 1997 シダ植物相と空間配置からみる遠音別岳周辺の地域特性—スケーリング解析による分布要素と多様性—。遠音別原生自然環境保全地域調査報告書、環境庁、61-78。

佐藤利幸・阪口寿子 2000 北海道における寒地性シダ(カラフトメンマ)と共存するシダフロアの解析 北方山草 17: 44-48。

佐藤利幸・白鳥桂子・柴田 治・藤山静雄 1997 松本市山麓のシダ植物相の定量解析—日本列島からみた植物地理要素—(予報)。環境科学年報—信州大学— 19: 47-56。

Sato, T., Kudo, G. and Takahashi, H. 1994b A quantitative analysis of vegetation structure in eastern Siberia, with respect to biodiversity and coexistence. Proceedings of the second Symposium on the joint Siberian permafrost studies between Japan and Russia in 1993 (ed. Gen Inoue). Tsukuba, 104-108.

Sato, T. and Fukuda, M. 1995 Biodiversity and vegetation patterns of arctic plants with scaling: a consideration from permafrost contribution in Siberia. Proceedings of the third symposium on the joint Siberian

permafrost studies between Japan and Russia in 1994 (eds. Kunihide Takahashi, Akira Osawa and Yoichi Kanazawa). FFPRI, Sapporo 117-182.

Sato, T., Guan, S. L. and Furukawa, A. 2000a A quantitative comparison of pteridophytes diversity in small scales among different climatic regions in eastern Asia. Tropics 9: 83-90.

Sato, T., Ito, H., Kudo, G., Yap, S.K. and Furukawa, A. 1996 Species composition and structure of epiphytic fern community on oil palm trunks in Malay Archipelago. Tropics 6: 139-148.

Sato, T., Yap, S.K. and Furukawa, A. 1995 Spatial distribution and biodiversity on Malaysian ferns concerning to scaling from leaf-shape to coexistence. Abstract and Report for Analysis of Tropical Rain Forest Ecosystem 1994, 165pp. NIES Tsukuba, 64-71.

Sato, T., Yap, S. K., Guan, S. L., Yasuda, M., Okuda, T. and Furukawa, A. 2000b Spatial distribution and phyto-diversity patterns of Pteridophytes in micro-scales in Peninsular Malaysia. Reports of International Joint Projects between Japan (NIES) and Malaysia (FRIM). (in press)

Sato, T. and Takahashi, H. 1996 A quantitative comparison of distribution patterns in two species of *Gymnocarpium* from local to global scaling. Acta Phytotax. Geobot. 47:31-40.

Sinclair, A.R.E., Hik, D.S., Schmitz, O.J., Rudder, G.G.E., Turpin, D.H. and Larter, N.C. 1995 Biodiversity and the need for habitat renewal. Ecological Applications 5: 579-587.