

# フィールドサイエンス

*Journal of Field Science*

No.12 2014



東京農工大学農学部附属広域都市圏  
フィールドサイエンス教育研究センター

平成26年 3月

## フィールドサイエンス 第12号

### 目 次

#### 論 文

- 1 デゲー (*Octodon degus*) の幼齢個体の成長に伴う身体変化と人への「親和性」の関係／染川太志・足立良介・鈴木 馨
  
- 7 ゴールデンハムスター (*Mesocricetus auratus*) における唾液  $\alpha$ -アミラーゼのストレスマーカーとしての利用可能性／津村 遼・鈴木 馨
  
- 11 高齢級スギ・ヒノキ人工林小流域における部分伐採が流出特性に与える影響／山崎恭平・白木克繁
  
- 17 ポリリン酸のリン酸肥料としての評価／松村昭治・大石真子・清水 正・岡崎正規

#### 資 料

- 23 北海道渡島駒ヶ岳の登山道沿いにおける外来草本の分布状況／斎藤達也

## 論文

デグー (*Octodon degus*) の幼齢個体の成長に伴う身体変化と人への「親和性」の関係染川 太志・足立 良介・鈴木 馨<sup>†</sup>Taishi SOMEKAWA, Ryousuke ADACHI, Kaoru SUZUKI<sup>†</sup>

近年、コンパニオンアニマルとして様々な種類のミニアニマルが流通している。家庭での飼育の際に、人への親和性が高いことは動物と人間の双方において重要である。数種のミニアニマルを用いて人への親和性を行動学的に評価する親和性評価試験を行ったところ、他種と比較してデグー (*Octodon degus*) が高い親和性を示した。そこで、本研究ではデグーの親和性の高さの背景を探るために成長に伴う身体変化と人に対する「親和性」の関連性を調べることを目的とした。実験にはデグーの幼齢個体7匹を使用した。出生後から体重変化などの身体変化の観察を行うとともに、離乳前、直後、3週間後にそれぞれ親和性評価試験を行った。その結果、19日齢から25日齢にかけて体重増加量の上昇、22日齢から33日齢にかけて母乳摂取頻度の減少がみられ、34日齢で完全離乳した。評価試験は離乳前と比較して、離乳直後に有意に親和性が高くなっていた ( $p < 0.05$ )。母乳摂取頻度の減少に伴う固形飼料摂取の増加などにより、独り立ちの過程で人との視覚的接触の機会が増加し、親和性が離乳後に高くなったと考えられる。デグーの高い親和性の背景には、離乳や餌の変化などの身体変化が関連していることが示唆された。

キーワード：デグー、コンパニオンアニマル、人への親和性

## 緒言

現在、多くの家庭でイヌやネコをはじめとして様々な種類の動物がペットとして飼育されている。最近ではペットをコンパニオンアニマルとしてとらえる考え方が一般的となっていて、ペットは「人のパートナー」として、人とより近い距離で飼育されている。コンパニオンアニマルは子どもの感情や認知の発達、健康に良い影響を与えているという報告 (Endenburg & van Lith 2011) や、動物を飼っている人がそうでない人に比べてストレス値が低く精神的にも肉体的にも健康である傾向が強いという報告 (Headey & Grabka 2007) もあるように、人の生活の充実に動物が大きく貢献していると言える。このような背景から多くの家庭でイヌやネコなどの動物が飼育されているが、中には集合住宅に住んでいることなどによる住環境の制約や日中に家にいることが少なく世話の時間が取れないといった時間的制約によって世話の負担が大きいイヌやネコなどの動物

が飼えないというケースも多いと考えられる。そのようなライフスタイルの変化により比較的世話が容易で負担の少ないミニアニマルが注目されている。ミニアニマルの代表的なものとしてモルモットやハムスター、ウサギなどが挙げられるが、近年ではチンチラやデグー、リス、モモンガといった様々な種類の動物が流通している。

動物をペットとして飼育していく上で、人への親和性が高いことは非常に重要なことである。飼育動物が人馴れし、人への恐怖心が低いことは、動物福祉に配慮し、人間と飼育動物双方の安全を守るために重要である (増田ら 2005)。かつてペットとして家庭で飼育されていたアライグマは、成熟すると人に対して攻撃的になり飼育することが難しくなったために、全国各地で飼い主による放獣が起り、現在では野生化が大きな問題になっている。このようなケースを未然に防ぐためにも、ペットとして飼育する上でその動物種が親和性の高い動物なのかということの評価するのは重要なことであると考えられ

2013. 2. 8 受付; 2013. 2. 14 受理

東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター

〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8

<sup>†</sup> 連絡担当著者：鈴木 馨

る。特に近年、チンチラやデグーといった様々な外国原産の動物が流通するようになったミニアニマルについては、「親和性」を評価することが重要である。

そこで、ウサギとモルモット、ゴールデンハムスター、デグーの成熟個体を用いて、親和性評価試験（平山ら2011 を一部改変）で人に対する親和性の高い種の検索を行ったところ、デグーが他の3種の動物と比較して最も高い親和性を示すという結果が出た。デグーは群居性のげっ歯類で社会性が高く、個体間で音声コミュニケーションを取っている。また、訓練をすることで道具を使って餌を取ることができるようになったという報告（岡ノ谷ら2008）もあり、非常に聡明な動物であると言える。さらに昼行性の動物なので一般的な人の生活リズムにも一致している。このようなデグーの特徴と親和性評価試験の結果から、デグーのコンパニオンアニマルとしての可能性は非常に大きいと期待できる。

本研究では、デグーの人に対する親和性の高さの背景を探るために、デグーの成長に伴う身体変化と人に対する「親和性」の関連性について調べることを目的とした。実験には自家繁殖させたデグーの幼齢個体を使用した。出生後から体重測定や母乳摂取の有無などの観察を行い、デグーの身体的変化をモニタリングするとともに離乳時期に合わせて3回にわたって親和性評価試験を行うことにした。そして、身体的変化と人への「親和性」のデータを照らし合わせることでその関連性の検証を試みた。

## 方法

### 〈人に親和性の高い種の検索〉

#### 実験対象

人への親和性の高い種を検索するために数種のミニアニマルの成熟個体を実験対象として親和性評価試験を行った。実験には、ウサギ (*Oryctolagus cuniculi*, 1~3歳齢, 体重1,440 g~2,500 g, オス1匹, メス2匹), モルモット (*Cavia porcellus*, 1歳齢, 体重770 g~1,100 g, オス3匹, メス1匹), ゴールデンハムスター (*Mesocricetus auratus*, 6~12カ月齢, 体重130 g~180 g, オス4匹), デグー (*Octodon degus*, 1歳齢, 体重190 g~220 g, オス1匹, メス1匹)のいずれも成熟した個体を用いた。ウサギはケージ (78×48×45 cm, 64×43×45 cm, 76×53×54 cm) で個別に飼育した。4匹のモルモットのうち2匹はケージ (57×35×35 cm, 77×48×42 cm) でそれぞれ個別に飼育し、残りの2

匹はケージ (57×70×35 cm) で複数飼育した。ゴールデンハムスターはケージ (41×28×18 cm) において、デグーはケージ (31×57×52 cm) においてそれぞれ2匹ずつで飼育した。餌と水は自由に摂取できるようにし、ウサギとモルモットには実験動物用固形飼料 (ウサギ・モルモット用 RC 4; オリエンタル酵母工業株式会社, 東京) を, ゴールデンハムスターには同じく固形飼料 (マウス・ラット・ハムスター用 MF; オリエンタル酵母工業株式会社, 東京) を, デグーには RC 4 と乾草 (チモシー) を与えた。飼育室の光周期は, 明期: 暗期が 10 h : 14 h (7時点灯, 17時消灯) で, 室温が約 24℃, 湿度は自然状態のままとした。

#### 評価方法

評価を開始する15分前に実験個体を評価用のケージに1匹ずつ移動させて, それぞれのケージに慣れさせた。評価用のケージは, ウサギ, モルモット, ゴールデンハムスターは直径50 cm, 高さ9 cmの円形容器を用い, デグーは31×57×52 cmのケージを用いた。その後, 親和性評価試験を行った。親和性評価試験は, 平山ら (2011) の恐怖心評価試験を改変して行った。評価項目は, ①ケージの2 m手前からの評価者の接近を許容するか②3分間ケージに触れた評価者の手を避けずに接近するか③評価者に簡単に捕まえられるか④評価者の手から餌 (ウサギ, モルモット, デグー: RC 4, ゴールデンハムスター: MF) を食べるか⑤腹部, 後肢などの触られることの少ない部位への接触を許容するかの5項目に設定し, それぞれの項目を0~4点の5段階で採点 (5項目合計で20点満点) し, 対象個体の得点を種ごとに平均して平均得点の比較を行った。各得点の評価基準は, 項目①と②が4点=評価者にすぐに接近・接触する3点=評価者に少し警戒しながら接近・接触する2点=評価者に対して興味を示さず, 接近行動も逃避行動も示さない1点=評価者に対する逃避行動を示す0点=鳴き声を出したり, 威嚇行動を示したりする, 項目③が4点=逃避行動を示さず, すぐに捕まる3点=少し逃避行動を示すが, すぐに捕まる2点=逃避行動を示し, 捕まった後も抵抗する1点=必死に逃げ, 簡単に捕まえることができない0点=鳴き声を出したり, 威嚇行動を示したりし, 簡単に捕まえることができない, 項目④が4点=手からすぐに餌を取り, 評価者の手の近くで餌を食べる3点=少し警戒をしながら餌を取り, 評価



者の手から離れて餌を食べる2点＝餌に興味を示さず、逃避行動も示さない1点＝評価者の手の近くに寄らず、逃避行動を示す0点＝鳴き声を出したり、威嚇行動を示したりし、評価者の手に近づかない、項目⑤が4点＝評価者の接触を許容し、評価者からの逃避行動を示さない3点＝少し嫌悪感を示すが、逃避行動は示さない2点＝嫌悪感を示し、若干の逃避行動を示す1点＝接触と同時に、激しい逃避行動を示す0点＝鳴き声を出したり、威嚇行動を示したりする、と設定した。

### 〈本実験〉

#### 実験対象

デグーの成熟個体（オス1匹，メス1匹）を2カ月齢の時から同じケージ（44×36×53 cm）で同居飼育し，16カ月齢でメス個体の妊娠を確認した。妊娠確認後もオスとの同居飼育を継続し，18カ月齢で幼齢個体7匹を出産した。この幼齢個体7匹（オス4匹，メス3匹）を本実験の実験対象として用いた。幼齢個体は母親と同じケージ（44×36×53 cm）で集団飼育し，父親は出産直後に幼齢個体の入ったケージの横に置いた別のケージ（48×28×45 cm）に移動させた。それぞれのケージの間で，視覚的遮断は行わず，お互いのケージが見えるような状態にした。メスと幼齢個体のケージの中には子育て用の小屋（16×22×18 cm）を設置し，母親の授乳によって幼齢個体を養育した。母乳以外に餌は実験動物用固形飼料（ウサギ・モルモット用RC4）とチモシーを用意し，水は自由に摂取できるようにした。飼育室の光周期は，明期：暗期が10 h：14 h（7時点灯，17時消灯）で，室温が約24℃，湿度は自然状態のままとした。

#### 幼齢個体の身体的変化の観察

出生直後から，幼齢個体の観察を行った。観察項目は，①体重変化（体重測定を4～7日に1回行い，記録），②母乳摂取の有無（毎日幼齢個体の授乳の様子を確認し，離乳時期を検証），③固形餌の摂食の有無（固形飼料と乾草の摂食の有無を毎日確認し，固形餌の摂食開始時期を検証），④出生時の開眼の有無 の4項目とした。

#### 親和性評価試験

本実験では，親和性評価試験を3つの時期に行った。1回目の評価（Time 0）は離乳前（19,20日

齢），2回目の評価（Time 1）は離乳直後（34,35日齢），3回目の評価（Time 2）は離乳3週間後（54,55日齢）として評価を行い，1回目と2回目，2回目と3回目の親和性評価試験の得点の変化を比較した。まず，評価を開始する15分前に実験個体を評価用のケージ（48×28×45 cm）に1匹ずつ移動させて，ケージに慣れさせた。そして15分後，親和性の高い種の検索と同じ親和性評価試験を行った。評価は2日間連続で，2人の評価者がそれぞれ1日ずつ評価を行った。

#### 統計処理

本実験の親和性評価試験の結果に対して一元配置分散分析法を用いて各評価時期の得点の平均値を比較した（ $p < 0.05$ ）。さらに，具体的に有意差のある評価時期を調べるために，Bonferroni法による多重比較を行い，どの時期に有意差があるか判定を行った（ $p < 0.05$ ）。

#### 動物取扱いの倫理

実験は東京農工大学動物実験小委員会の承認を得て行った。

### 結果

#### 〈人に親和性の高い種の検索〉

ウサギ，モルモット，ゴールデンハムスター，デグーの親和性評価試験の点数は，それぞれ10.0点，7.0点，11.5点，13.2点で，デグーの点数が最も高く，親和性が高いという結果になった（図1）。

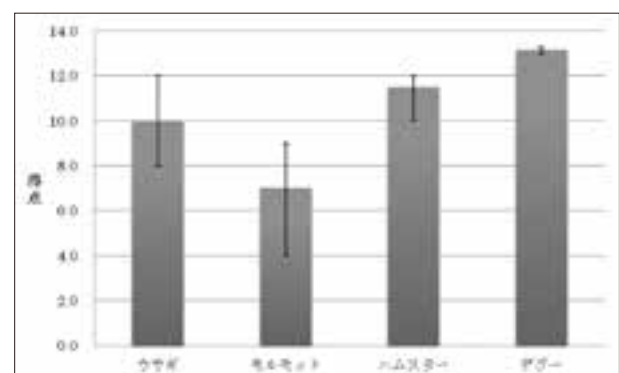


図1. 人への親和性の高い種の検索における親和性評価試験の合計得点の平均値（および最大値・最小値）の種間比較

#### 〈本実験〉

##### 幼齢個体の身体的変化

出生後19日齢から25日齢にかけて，それまで1日

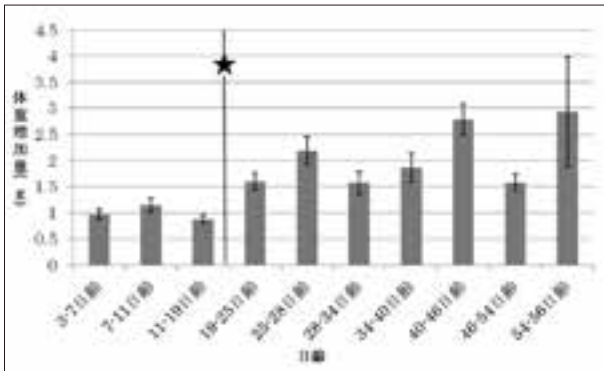


図2. デグーの幼齢個体の1日当たりの体重の平均増加量(±S.D.)の経時変化

★: 体重の増加量が約1 g/日から約2 g/日へと変化した時期

当たり約1 gであった体重の増加量が1日当たり約2 gへと変化した(図2)。また、母乳摂取を確認できた日が22日齢から2日に1回程度に減少し、33日齢以降母乳摂取が確認できなくなり、34日齢に完全に離乳した。固形餌の摂取は、11日齢前後から幼齢個体がチモシーを齧っているのが確認され、17日齢前後にはRC 4をケージ内の小屋で齧っているのも確認された。その後、幼齢個体が小屋の外の餌場から固形飼料を取って、食べる姿がしばしば見られるようになった。開眼は、生後すぐに確認された。

### 親和性評価試験

5つの評価項目の合計得点の平均値は、離乳前(Time 0)、離乳直後(Time 1)、離乳3週間後(Time 2)で、それぞれ $9.3 \pm 2.1$ 点、 $14.5 \pm 1.6$ 点、 $15.1 \pm 1.5$ 点となった(図3)。Time 0とTime 1、Time 0とTime 2の得点間には有意差が

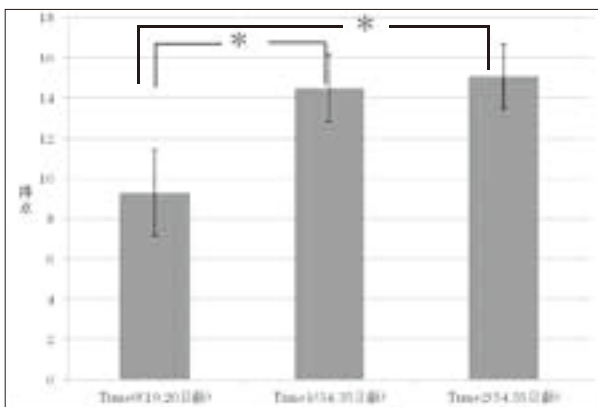


図3. 幼齢デグーの親和性評価試験の合計得点の平均値(±S.D.)の評価時期ごとの比較

\*: Bonferroni法での多重比較による評価時期間の有意差あり( $p < 0.05$ )

認められた( $p < 0.05$ )が、Time 1とTime 2の得点間には有意差は認められなかった。

### 〈結果のまとめ〉

本実験の結果をまとめて図4に示した。デグーは出生時すでに開眼していた。22日齢から母乳摂取頻度が減少し始め、34日齢で完全離乳した。11日齢で乾草(チモシー)を、17日齢で固形飼料(RC 4)を摂食し始め、行動範囲も広がった。体重の増加量は19日齢から25日齢にかけて1日当たり1 gから2 gに変化した。そして、人への親和性は、離乳前の19, 20日齢と比べて、離乳直後の34, 35日齢で有意に高くなっていた。



図4. デグーの幼齢個体の身体的変化の経時変化と人馴れ評価試験の評価時期

### 考 察

近年多くの人々がペットを「パートナー」としてとらえ、人とより近い距離で動物を飼育している。人と飼育動物の距離が近くなればなる程、飼育動物の人への親和性は、動物福祉への配慮や人間と飼育動物双方の安全のために重要である(増田ら2005)。そのため、飼育する動物種が人馴れしやすい動物なのかをあらかじめ評価することが必要である。そこで、様々な種が流通しているミニアニマルの中からウサギとモルモット、ゴールデンハムスター、デグーの4種を対象に親和性評価試験を行い、人により親和性の高い種の検索を行った。その結果、デグーが他の3種に比べてより高い親和性を示す種であるという結果となった。この結果から、デグーはコンパニオンアニマルとしての可能性が非常に大きいと考えた。そこで本研究では、デグーの親和性の高さの背景を探るために、デグーの幼齢個体の体重変化や離乳の時期などの身体的変化のデータを取るとともに親和性評価試験を成長段階に合わせて行い、成長に伴うデグーの身体変化と人への「親和性」の関連性を検証することを目的とした。

幼齢個体の身体的変化の観察においては、2つの

大きな変化が観察された。1つ目は、体重の増加量の変化である。出生後19日齢から25日齢にかけて、それまで1 g/日であった体重の増加量が2 g/日に変化した。これは、デグーの幼齢個体の成長過程において3週齢前後で体重の増加量が上昇したという先行研究とほぼ一致している（Long & Ebensperger 2010）。2つ目は、母乳摂取頻度の変化である。母乳摂取は22日齢付近から頻度が減少し、33日齢以降確認できなくなった。先行研究では、授乳期の後半になるに従って母乳中の炭水化物量が減少してくるという報告（Veloso & Kenagy 2005）があり、22日齢付近から母乳中の栄養が不足し、成長のための栄養として固形餌や乾草などの固形飼料を主として食べるようになったと考えられる。また、デグーの腸内の加水分解酵素の割合を調べた先行研究ではスクロースを分解するスクラーゼの活性量が16日齢から増加し始め、母乳に多く含まれるラクトースを分解するラクターゼの活性量が離乳前から減少し始めることが報告されている（Sabat & Veloso 2003）。この研究報告から、デグーの幼齢個体の腸内のスクラーゼの活性量が16日齢付近から増加し、摂取した固形飼料からの栄養の吸収率が増加したものと考えられる。そしてそれに伴い、22日齢付近から体重の増加量が上昇したものと考えられる。また、幼齢個体の開眼は、出生直後に観察されたが、これは先行研究の報告（Long & Ebensperger 2010）と一致するものであった。

親和性評価試験では、離乳前（19, 20日齢）と離乳直後（34, 35日齢）において得点に有意差が確認できた。Time 0とTime 1の間で、人間に対する親和性が有意に増加したものと考えられる。そして、Time 1とTime 2（54, 55日齢）の間には有意差が確認できなかったという結果からデグーの人に対する「親和性」は離乳の前後で高くなり、その後維持するということが示された。離乳の前後で評価試験の得点に有意な増加が見られた要因として、Time 0とTime 1の間で幼齢個体の授乳量が減少し、固形飼料の摂取頻度が増加したことに伴い、幼齢個体が固形飼料摂取のために小屋から出てケージ内を自由に動き回るようになり、人間とのケージを挟んでの視覚的接触の機会が増加したことが考えられる。一般的に、人間と接する多くの動物に対しては人間への恐怖心を減少させるためにハンドリング処置を行う（増田ら 2005, 平山ら 2011）。特に、幼齢時のハンドリング等による馴致処置は人間に順

応しやすい個体の育成に結びつく（増田ら 2005）ため、離乳前のウサギに対してハンドリングを定期的に行うと人間に対する特異的な恐怖心の減少が示されたという研究報告もある（Pongraczら 2001）。しかし、本実験では離乳前のデグーの幼齢個体に対してハンドリング等の直接的な接触を特別に行うことなく、人との視覚的接触の機会の増加のみで人に対する高い親和性を示す結果となった。この結果は、デグーが他のげっ歯類と比較して高い親和性を示す種であるという「人への親和性の高い種の検索」の結果を裏付ける形となった。この結果から、デグーはハンドリング等による直接的な接触を必要以上に行わなくても日常の世話のみで人に対する恐怖心を克服し、人への高い親和性を示すという可能性が示唆される。また、デグーが日常の世話による人との接触だけで高い親和性を示すようになる背景には、離乳や餌の変化などの身体的変化が関連していることが本研究によって示された。これらは人間とより近い距離でコミュニケーションを取ることができるコンパニオンアニマルとしてのデグーの可能性を示して、教育用動物など様々な場面での利用も期待できる。本研究はコンパニオンアニマルとしてのデグーを人への「親和性」という視点から評価したという点で、デグーを利用した今後の研究の基礎的知見となると思われる。

#### 引用文献

- 1) Endenburg, N. and van Lith, H. A. (2011): The influence of animals on the development of children. *Veterinary Journal*, 190: 208-214.
- 2) Headey, B. and Grabka, M. M. (2007): Pets and human health in Germany and Australia: National longitudinal results. *Social Indicators Research*, 80: 297-311.
- 3) 平山加奈子・松本令以・富岡由香里・鈴木馨 (2011): 動物の人間に対する恐怖心を減少させる積極的な処置の検討. *共生社会システム研究*, 5: 47-69.
- 4) Long, C. V. and Ebensperger, L. A. (2010): Pup growth rates and breeding female weight changes in two populations of captive bred degus (*Octodon degus*), a precocial caviomorph rodent. *Reproduction in Domestic Animals*, 45: 975-982.
- 5) 増田樹哉・塩谷瑠美・小林茂樹 (2005): 親和

- 的家畜育成および馴致管理によるヒトへの恐怖心低減と生産性向上. 明治大学農学部研究報告, 55: 1-8.
- 6) 岡ノ谷一夫・時本楠緒子・熊澤紀子・日原さやか・入來篤史 (2008) : 齧歯類の道具使用訓練. 人工知能学会全国大会論文集, 22: 1 M 2-03.
- 7) Pongracz, P., Altbacker, V. and Fenes, D. (2001) Human handling might interfere with conspecific recognition in the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Developmental Psychology*, 39: 53-62.
- 8) Sabat, P. and Veloso, C. (2003) Ontogenic development of intestinal disaccharidases in the precocial rodent *Octodon degus* (Octodontidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 134: 393-397.
- 9) Veloso, C. and Kenagy, G. J. (2005) Temporal dynamics of milk composition of the precocial caviomorph *Octodon degus* (Rodentia: Octodontidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, 78: 247-252.



## 論文

ゴールデンハムスター (*Mesocricetus auratus*) における  
唾液  $\alpha$ -アミラーゼのストレスマーカーとしての利用可能性津村 遼・鈴木 馨<sup>†</sup>Ryou TSUMURA, Kaoru SUZUKI<sup>†</sup>

現在、ストレスを評価する方法として、血中副腎皮質ホルモン濃度の測定が最も一般的である。しかし、実験動物として利便性・汎用性の高い小型げっ歯類で十分量の血液を得るためには断頭処理や心臓穿刺が必要なため、複数回あるいは連続採取が不可能であり、また動物にとって非常に侵襲性が強い。本研究では、複数回採取が可能で非侵襲性のストレス評価指標として唾液  $\alpha$ -アミラーゼ活性の利用可能性を検討した。ゴールデンハムスター 6 個体に輸送ストレスを負荷し、その前後に唾液採取用のシートを口内に30秒間挿入することによってサンプルを得た。また輸送ケースに入れるだけで実際の輸送を行わず、唾液採取手順は同様に行う対照群を設定した。得られたサンプルはすぐ唾液アミラーゼ活性分析装置で分析した。6 個体内、2 個体は唾液が適切に採取できなかったため、また1 個体は他個体と比べ初期値が異常に高かったため、検討対象から外した。残り3 個体の唾液中  $\alpha$ -アミラーゼ活性値は、実験群と対照群で増加量に有意な差が認められた (実験群:  $66.7 \pm 33.5$  kiu/L, 対照群:  $9.7 \pm 4.2$  kiu/L,  $p < 0.05$ )。これより、ゴールデンハムスターのストレス評価における唾液  $\alpha$ -アミラーゼの利用可能性が示唆された。

キーワード: ゴールデンハムスター, 唾液  $\alpha$ -アミラーゼ, ストレスマーカー

## 1. はじめに

現在、ストレスを生理学的に評価する上で最も一般的な方法は血中副腎皮質ホルモン濃度の測定である。しかし、実験動物として利便性・汎用性の高いハムスターやラットのような小型のげっ歯類において、測定に十分な量の血液を採取するためには、断頭処理や心臓からの直接採血を行う必要があり、非常に侵襲性の高いものとなっている (Head *et al.* 1985)。またこの方法には、ストレスの経時的な変化を読み取るための試料の複数回採取や連続採取が不可能であるという欠点もある。そこで本研究では、採取が比較的容易で非侵襲性の高いストレスマーカーとして唾液中の  $\alpha$ -アミラーゼに注目した。

近年、唾液中の  $\alpha$ -アミラーゼはヒトのストレスマーカーとして注目を集めており (Nater *et al.* 2005)、多くの研究で肉体的・精神的なストレスでの活性上昇が確認されている (Granger *et al.*

2007; DeCaro 2008; Nater and Rohleder 2009)。

これはストレスによって交感神経が優位になり、副腎髄質から分泌されたノルアドレナリンが唾液腺に作用するためだと考えられている。さらに、唾液  $\alpha$ -アミラーゼ分泌には前述の経路だけでなく、直接神経作用による制御システムも存在するため、亢進される場合には応答が1~数分と、ホルモン作用に比べてレスポンスが速いという特徴がある (山口2007)。

現在までも、ブタ (Muneta *et al.* 2010; Fuentes *et al.* 2011) やウシ (Kitagawa *et al.* 2011) など家畜のストレスを評価するために唾液中の  $\alpha$ -アミラーゼ活性を測定した報告は数多く認められる。しかし、実験動物として広く用いられている小型げっ歯類についての報告は見当たらない。ハムスターは左右に2つの口腔粘膜が反転した大きな頬袋を持つため、工夫次第で測定に十分な量の唾液を確保できる可能性が高い。以上の点から、本研究では小型げっ歯類の例としてゴールデンハムスター

2013. 2. 8 受付; 2013. 2. 27 受理

東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター

〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8

<sup>†</sup> 連絡担当著者: 鈴木 馨

(*Mesocricetus auratus*) を用いて、非侵襲的で複数回採取可能なストレスマーカーとして唾液  $\alpha$ -アミラーゼを評価するために、一般的に動物に強いストレスを与えるとされる輸送ストレス（実験動物福祉専門委員会2006）を負荷し、唾液  $\alpha$ -アミラーゼ活性の増加量を測定した。

## 2. 材料および方法

### 2.1 使用動物

生後1～2月齢のゴールデンハムスター (*Mesocricetus auratus*) のオス6個体 (90～130 g) を用いた。飼育方法は、1ゲージ (40×25×19 cm) に2頭ずつ飼育した。光周期は朝6時から12時間明るくし、12時間暗くするリズムとした。飼育者は毎朝9時から10時の間に給餌、給水、掃除などの世話をを行った。また、エサと水は自由にとれるようにした。エサは、実験動物用固形飼料 (マウス・ラット・ハムスター用 MF; オリエンタル酵母工業株式会社, 東京) を1日に5～10 g程度与えた。室内の温度は24℃に設定し、湿度は自然状態のままとした。実験は国立大学法人東京農工大学動物実験等に関する規定にのっとり、動物実験小委員会の承認を得て実施した。

### 2.2 実験手順

輸送開始時を0時間として自転車による30分間の輸送を行い、0および0.5時間に唾液採取を行った (実験群)。また比較対象として、輸送を行わず唾液採取手順は同様に行う対照群を設定した。対照群は30分間輸送に用いたものと同じプラスチックケースの中で放置した。実験群と対照群では1～2週間の回復期間を設けることによって、同じ動物を入れ替え繰り返し使用した。実験は朝9時から12時の間に行った。

### 2.3 輸送方法

輸送方法としては溝江らの研究 (溝江・鈴木2009) に従って行った。ハムスターへのストレスを負荷するために、体より一回りほど大きなプラスチックケース (16×12×15 cm) に目の位置より高いところに換気用の穴をあけたものを輸送に使用した。動物を入れたプラスチックケースを籠に固定して自転車で輸送した。コースはコンクリートの道路と凹凸のある砂利道が含まれる道のり約500 mであり、30分間に8周する速度として一定の刺激となる

ようにした。

### 2.4 唾液採取と $\alpha$ -アミラーゼ活性測定

唾液サンプルは、唾液採取用の試験紙が取り付けられたシート (酵素分析装置 唾液アミラーゼモニター チップ, ニプロ株式会社, 大阪) を切歯と臼歯列の間隙から口腔内に挿入することで採取した。シートの挿入時間はドライケミストリー式携帯型唾液アミラーゼ活性分析装置 (酵素分析装置 唾液アミラーゼモニター, ニプロ株式会社, 大阪) の説明書の記述に従い30秒以上とし、また唾液アミラーゼの反応速度 (Simpson *et al.* 1984) を踏まえ60秒以下に設定した。唾液採取量はシートの挿入時間内に試験紙に浸潤した量と定義し、それが十分量であることを目視により確認した。測定に必要な量の唾液を採取できなかった場合は、1日以上 of 休息期間をおき、必要量を採取できるまで同じ試行を繰り返した。サンプルは採取後すぐに上記の分析装置で測定した。この装置の測定原理は、比色法 (東ら2005) に基づくものである。

### 2.5 統計処理

実験群と対照群それぞれについて、処置前後の活性値の増加量 (処置後の活性値 - 処置前の活性値) を求め、平均値と標準偏差を算出した。群間の有意差検定は Welch test を用いた。p 値が0.05以下を有意差有りとした。

## 3. 結果

表1に全個体における唾液採取試行回数および採取成功回数を示した。今回の実験では、対象が小さいため唾液分泌量が少なく、測定に必要な量を確保できないものが2個体存在した。前述の通り、唾液が採取出来なかったものに関しては同試行を繰り返し行ったが、他の4個体が1, 2回の試行で円滑にサンプルが得られたのに対して、2個体に関しては失敗が多く、各個体の試行回数に対する成功率が0%, 42%と5割に満たなかったため、これを他個体と等しく検討対象とすることは不適切と判断し、解析から外した。

次に、表2に上記の2個体を除いた4個体の、実験群と対照群における輸送前と輸送後の  $\alpha$ -アミラーゼ活性値を示した。4個体の内3個体については、実験群の輸送前の値が14～21 kiu/L であるのに比べ、輸送後が58～117 kiu/L と、大きな増加が

表 1. 全個体における唾液採取試行回数および採取成功回数

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
唾液採取試行回数	5	5	4	5	12	14
採取成功回数	4	4	4	4	5	0
唾液採取成功率	80%	80%	100%	80%	42%	0%

表 2. 輸送前と輸送後の唾液  $\alpha$ -アミラーゼ活性

		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
実験群	輸送前	21 kiu/L	15 kiu/L	14 kiu/L	96 kiu/L
	輸送後	58 kiu/L	75 kiu/L	117 kiu/L	60 kiu/L
対照群	処置前	22 kiu/L	11 kiu/L	22 kiu/L	26 kiu/L
	処置後	35 kiu/L	16 kiu/L	33 kiu/L	22 kiu/L

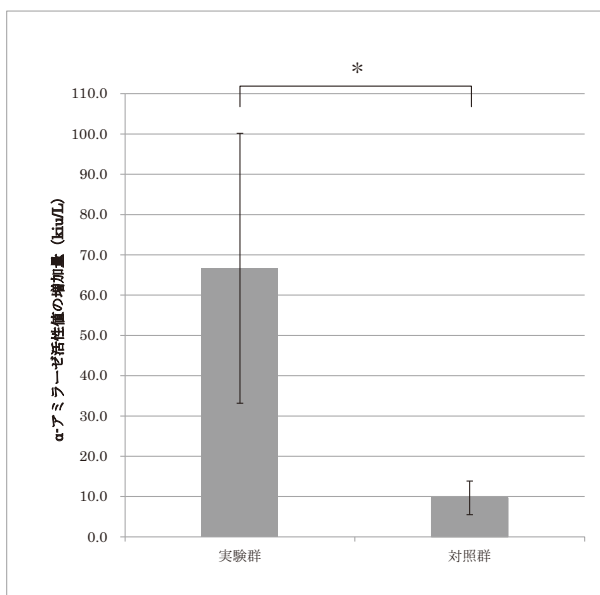


図 1. 実験群と対照群の唾液  $\alpha$ -アミラーゼ活性値の増加量 (処置後の活性値 - 処置前の活性値)

\* : 実験群と対照群には増加量に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ ).

確認されたが、対照群は処置前の値が11~22 kiu/L、処置後が16~35 kiu/Lと、大きな増加は見られなかった。また、残りの1個体に関しては、実験群での  $\alpha$ -アミラーゼ活性の初期値が96 kiu/Lと、他の個体が10~30 kiu/Lの範囲にあるのに比べて異常に高い値を示したため、検討対象から除外した。

残りの3個体で統計処理を行ったところ、実験群と対照群の唾液アミラーゼ活性値の増加量の差は、実験群で  $66.7 \pm 33.5$  kiu/L、対照群： $9.7 \pm 4.2$  kiu/Lであり、群間に有意差が検出された (図 1)。

#### 4. 考 察

本研究の目的は、ゴールデンハムスターの唾液中に含まれる  $\alpha$ -アミラーゼの活性値が、非侵襲的で複数回採取できるストレスマーカーとして利用可能

かを検証することである。実験の結果、輸送によりストレスを負荷した群の  $\alpha$ -アミラーゼ活性値の増加量は、負荷していない群より有意に高い値を示した。このことから唾液  $\alpha$ -アミラーゼがゴールデンハムスターのストレスマーカーとして利用出来る可能性が示唆された。

本研究では実験に使用した6個体の内、唾液採取の成功率が著しく低いものが2個体存在した。これはハムスターの口内から分析に必要な量の唾液を確保できなかったため、より確実な成果を得るためには、生理食塩水などによる頬袋の洗浄後、その吐出液を用いることで必要量を得るなど、新たな採取方法を見つけることが必要である。

また、実験群で、 $\alpha$ -アミラーゼ活性の輸送前の値が、他の3個体より高い数値を示した個体が存在したが、これもまた唾液採取手順に不慣れであったことが原因と考えられる。唾液採取技術に習熟し、より精確な実験を行うことで他の個体に近い値を検出することが可能になるだろう。

残りの3個体からは、実験群と対照群の唾液アミラーゼ活性値の増加量の差に有意差が検出された。このことから、唾液採取技術の習熟あるいは新しい採取方法を用いることで、唾液中の  $\alpha$ -アミラーゼ活性値からストレスを測定することは十分可能であると考えられる。

唾液  $\alpha$ -アミラーゼは既にヒト (Nater *et al.* 2005) のストレスマーカーとして利用されているが、他の動物に対しては、ブタやウシなど一部の動物以外ではほとんど報告例がない。この理由として、唾液中の  $\alpha$ -アミラーゼ濃度が動物の種によって異なることが挙げられる。例としてイヌの唾液中には  $\alpha$ -アミラーゼがほとんど含まれていないことが報告されており (Simpson *et al.* 1984)、このような動物に対するストレスマーカーとして唾液  $\alpha$ -ア



ミラーゼを用いるのは難しい。これに対し、本研究で用いたハムスターは種子を中心に摂取する穀食性あるいは草食に傾いた穀食性の動物であり、穀物に含まれるデンプンを多く分解する必要がある。 $\alpha$ -アミラーゼはデンプン分解酵素であるため、ゴールデンハムスターの唾液には測定に十分な $\alpha$ -アミラーゼが含まれており、ストレスマーカーとして適切な指標になり得ると考えられる。

今回の結果から、今後小型げっ歯類においてストレスを測る際に断頭や心臓穿刺を行う必要がなくなり、動物の使用個体数を削減することができる。また血液採取より唾液採取の方が直接的な苦痛の軽減になることから、唾液 $\alpha$ -アミラーゼをストレスマーカーとして用いることは動物福祉の向上につながると考えられる。また経時変化を読み取ることができるようになると、小型げっ歯類の実験動物としての利便性・汎用性が向上し、今まで以上に様々な場面で利用できるだろう。

#### 引用文献

- 1) DeCaro, J. A. (2008) Methodological considerations in the use of salivary  $\alpha$ -amylase as a stress marker in field research. *American Journal of Human Biology*, 20 : 617-619.
- 2) Fuentes, M., Tecles, F., Gutiérrez, A., Otal, J., Martínez-Subiela, S. and Ceron, J. J. (2011) Validation of an automated method for salivary alpha-amylase measurements in pigs (*Sus scrofa domestica*) and its application as a stress biomarker. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 23 : 282-287.
- 3) Granger, D. A., Kivlighan, K. T., El-Sheikh, M., Gordis, E.B. and Stroud, L.R. (2007) Salivary alpha-amylase in biobehavioral research : Recent developments and applications. *Annals of the New York Academy Sciences*, 1098 : 122-144.
- 4) Head, R. J., Jarrott, B., Libys, J., Robinson, R. L., Stitzel, R.E. and Zavisca, F. (1985) Influence of blood sampling conditions upon histamine concentrations in rat plasma : a study of a complex relationship with plasma epinephrine. *Neurochemistry International*, 7 : 473-479.
- 5) 東朋幸・水野康文・山口昌樹 (2005) 唾液アミラーゼ活性を利用した交感神経活動モニターの開発. *Yamaha Motor Technical Review*, 40 : 111-117.
- 6) 実験動物福祉専門委員会 (2006) 実験動物の輸送に関する指針. 社団法人日本実験動物協会, 1-13.
- 7) Kitagawa, A., Akasaka, C., Ninomiya, S. and Sato, S. (2011) The validity of salivary-amylase as stress marker of cattle. *Journal of Integrated Field Science*, 8 : 114.
- 8) 溝江なお・鈴木馨 (2009) ニホンウズラ (*Coturnix coturnix japonica*) とウサギ (*Oryctolagus cuniculi*) における輸送ストレスの評価. *日本比較臨床医学会誌*, 17 : 66-74.
- 9) Muneta, Y., Yoshikawa, T., Minagawa, Y., Shibahara, T., Maeda, R. and Omata, Y. (2010) Salivary IgA as a useful non-invasive marker for restraint stress in pigs. *Journal of Veterinary Medical Science*, 72 : 1295-1300.
- 10) Nater, U.M., Rohleder, N., Gaab, J., Berger, S., Jud, A., Kirschbaum, C. and Ehlert, U. (2005) Human salivary alpha-amylase reactivity in a psychosocial stress paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, 55 : 333-342.
- 11) Nater, U. M. and Rohleder, N. (2009) Salivary alpha-amylase as a non-invasive biomarker for the sympathetic nervous system : Current state of research. *Psychoneuroendocrinology*, 34 : 486-496.
- 12) Simpson, J.W., Doxey, D.L. and Brown, R. (1984) Serum isoamylase values in normal dogs and dogs with exocrine pancreatic insufficiency. *Veterinary Research Communications*, 8 : 303-308.
- 13) 山口昌樹 (2007) 唾液マーカーでストレスを測る. *日本薬理学雑誌*, 129 : 80-84.



## 論文

高齡級スギ・ヒノキ人工林小流域における  
部分伐採が流出特性に与える影響山崎 恭平\*<sup>1</sup>・白木 克繁\*<sup>2†</sup>Effect of partial cutting at an old-aged artificial forest of *Cryptomeria japonica* and  
*Chamaecyparis obtusa* on run-off characteristics in a headwater catchmentKyohei YAMAZAKI\*<sup>1</sup>, Katsushige SHIRAKI\*<sup>2†</sup>

In order to estimate the effect of partial forest cutting on run-off characteristics in a small headwater catchment in FM Oyasan of The Tokyo University of Agriculture and Technology, single and a paired watershed approaches were conducted to the 8 years' data after forest cutting. In November 2000, Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) in lower slope were removed with 20% of total area in the treated watershed. The treated watershed was consisted by 96-years-old Japanese Cedar and Cypress. The controlled watershed was consisted by 24-year-old Japanese Cedar and Cypress at the time of forest cutting. The annual water yield in the treated watershed continuously increased during 8 years after cutting. The maximum increase in runoff occurred at 7 years after cutting. The peak flow in the treated watershed increased for 5 years after cutting. The peak runoff returned to the similar level of pre-treated period after 6 to 8 years of cutting. The continuous observation is necessary for clarifying the forest cutting effects for longer period.

**Keywords** : paired watershed method, partial clear cutting, water budget, peak discharge

群馬県に位置する東京農工大学 FM 大谷山演習林内の1.8 ha 流域において行われた部分伐採が河川の流出特性に及ぼす影響を評価するため、単独流域法、対照流域法により、伐採後8年間の流量分析を行った。2000年11月に伐採区において流域下部のスギ林が流域面積比で約20%皆伐された。伐採当時の植生は伐採区が96年生のスギ・ヒノキ、対照区が24年生のスギ・ヒノキであった。伐採後、伐採区の年流出量は増加傾向を示し、2004年の例を除いて増加は伐採から8年後まで継続していた。また、最大の増加は伐採後7年目に見られた。ピーク流量の解析では伐採から数年間は増加を示したが、伐採後6～8年経過すると伐採前と同程度の傾向に戻った。より長期の影響評価を検討するため、継続的なモニタリングが必要であることが分かった。

**キーワード** : 対照流域法, 部分皆伐, 水収支, ピーク流量

## 1. はじめに

森林の持つ水源涵養機能, すなわち河川流出の平準化機能は, 森林が「緑のダム」と呼ばれることから分かるように, 人工のダムが持つ機能を代替するものとして森林に期待されている機能である。森林伐採は林業を営む上で欠かすことのできない施業

であるとともに, 山地流域からの流出に与える影響は大きい。森林伐採が河川の流出に与える影響を定量的に把握することができれば, 洪水の防止や水資源の涵養に適した森林の管理が可能となる。

森林の管理状態と河川流出との関係を解明するため, 世界各地に試験流域が設定されてきた。流域試験では, 森林に皆伐などの処理を加えて流出の変化

2013. 11. 28受付; 2013. 12. 23受理

\*<sup>1</sup> 東京都水道局水源管理事務所 〒198-0088 東京都青梅市裏宿町600

\*<sup>2</sup> 東京農工大学大学院農学研究院 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8

† 連絡担当著者: 白木克繁 メールアドレス: shirakik@cc.tuat.ac.jp 電話番号: 042-367-5750

を試験する方法として単独流域法と対照流域法がある。単独流域法は1流域を対象として、森林に伐採などの処理を加える前後の期間における流出量比較から、処理による影響を評価する方法である。一方、対照流域法は地形や地質、面積など流域条件ができるだけ類似し、かつ近接した2流域を設定し、流域間の流出量を把握し、その後一方の流域のみに処理を加え、伐採前に求めておいた関係に対する伐採後の変化によって、処理による影響を評価する方法である。今回の解析では、対照流域法による対照区の流量に欠測が多く見られたため、単独流域法、対照流域法の二つの手法を組み合わせることで、より詳細な影響評価を行うこととした。

日本における最初の伐採試験は1906年に設定された茨城県・太田試験地におけるもので、単独流域法による評価が行われた(玉手 1923)。また、1909年に設定されたアメリカ・コロラド州の Wagon Wheel Gap 試験地では、世界で最初となる対照流域法による森林伐採の影響評価が行われた。以後も同様の方法による試験が世界各地において実施され、それらの数多くの事例の結果をまとめる試み(例えば、Bosch and Hewlett 1982)も行われてきた。海外を含めた6つの試験流域の結果をまとめた中野(1971)の報告によると、日本の流域において皆伐を行った場合、年流出量は200~300 mm/yearの範囲で増加すると推定した。また、少数の例外を除いて最大の増加量は伐採が行われた年もしくはその翌年に起きることが示されている。ピーク流量や直接流出量などの高水流量は出水時における流域の土壌水分分布や降雨状況に影響を受けつつも、多くの場合は伐採後に増加することや、低水流量も伐採によって増加することも示された。

流域内すべての樹木を伐採した場合の河川流出に与える影響と比べて、流域内に伐採対象とされない樹木が残される部分伐採はその影響評価が難しく、事例数も相対的に少数である。一般的には伐採面積率の増加にともなって流出量も増加することが知られているが、同じ面積率の伐採に対しても単木的に抜き伐りする場合と小面積の団地状伐採とでは流出に与える影響が異なる(中野1971)ため、部分伐採に関しては今後様々な条件下における事例の集積が必要であるといえる。さらに、過去に行われてきた伐採試験には、日本において一般的な人工更新の流れである伐採、地ごしらえ、植栽という処理法を扱った事例も少ない。

近年、日本の林業を取り巻く状況が変化する中で、森林の施業方法にもその影響が現れてきている。生態系の保護や土砂流出の防止など、森林の持つ公益的機能を重視する観点から大規模皆伐は減少し、択伐や小面積皆伐が指向されてきている。一方、現在日本では戦後大規模に造林された針葉樹人工林の高齢級化が進行しており、それらの林分伐期を迎えつつある。以上のことから、今後日本では高齢級の針葉樹人工林に対する部分伐採が一般的に行われるようになると予想されることから、それらの施業に対する河川流出への影響を把握することが重要である。

そこで、本研究では、斜面下部の部分伐採が行われた高齢級のスギ・ヒノキ林流域において伐採が河川の流出特性に与える変化を単独流域法、対照流域法により評価することを目的とした。この流域では伐採の行われた年の翌春に地ごしらえ、さらに植栽が行われ、日本各地で行われている更新施業と同様の条件を有する貴重な事例であると言える。

## 2. 対象地

### 2-1. 対象地概要

対象地は群馬県みどり市、東京農工大学FM大谷山演習林内にある1.80 ha、1.27 haの2つの流域である(図1と2)。図2中A流域は2000年に森林伐採の行われた流域(伐採区)であり、B流域は対照区として設定した流域である。各流域の諸元を表1に示す。伐採区に関しては簡易貫入試験や土壌サ

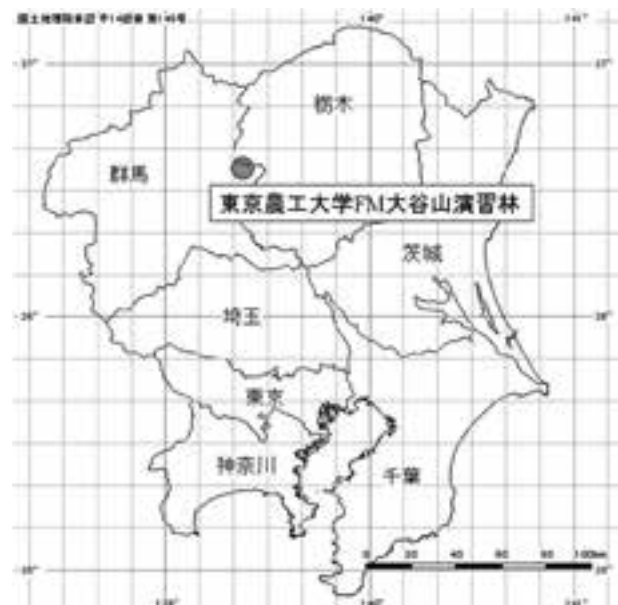


図1. 対象地の位置図

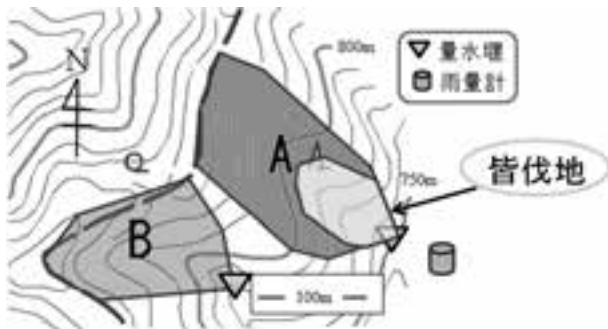


図2. 各流域の位置図

表1 各流域の諸元

	伐採区	対照区(伐採なし)
流域面積 (ha)	1.80	1.27
林齢 (伐採当時)	96	24
平均土層厚 (m)	2.61	未調査
樹種構成	スギ、ヒノキ	
平均降水量	1727 mm (1999~2007年平均)	
地質	中生層 (粘板岩・砂岩)	

ンプル調査によってそれぞれ測定された土層厚の空間分布や飽和・不飽和透水係数の鉛直分布などの情報が得られている (Shiraki *et al.*, 2007)。

### 2-2. 森林伐採の方法と以後の管理

伐採区において、2000年11月に流域末端部河道周辺のスギ林を対象として、流域面積比で約20%皆伐がおこなわれ、樹幹のみ流域外に搬出した。施業に際して流域内に重機は入っておらず、土壌攪乱などの影響を最小限にするため、林床に丸太を敷いて作業が行われた。伐倒木の枝条は翌2001年の春に地ごしらえに用いられ、同年5月には1400本のスギが再植林された。さらに翌2002年6月、50本のスギ苗木が捕植された。2001年と2008年の伐採地の様子を図



図3 伐採区の状態 (2001年)



図4. 伐採区の状態 (2008年)

3, 図4に示す。

## 3. 解析方法

### 3-1. 解析データ

本研究では伐採区、対照区の流量データと雨量データ (両流域に共通) を利用する。流量は各流域の末端に設置された量水ますへ渓流水を導水して測定している。この量水ますには60° V 量水堰が付けられており、2流域とも同じ規格で作られている。この量水堰で観測される水位を元に、堰水位と越流水深の実測値より得られた水位流量換算式によって流量を算出している。換算式は量水堰の流量チェックを行った期間によって2種類用い、1979年1月から1998年12月までは以下の(1)式 (大類 1995) を、1999年1月から2008年12月は(2)式を用いた。なお、量水ますは同じ規格で作られているため、換算式は伐採区量水堰で作成した水位-流量曲線を、伐採区、対照区とも共通の式を用いている。チャート紙上の水位記録はデジタイザーを用いて読み取り、流量に換算した。

$$Q = 0.0142 H^{2.2856} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = 0.008838 (H + 0.25581)^{2.5} \dots\dots\dots (2)$$

ここでは Q: 流量 (L/秒), H: 量水堰目盛りの水位 (cm), とした。

降水量は、伐採区近傍で樹冠の影響を受けない場所に設置された転倒柵式雨量計で観測した。ただし、欠測時は対象地から北東へ約500 m 離れた気象観測所 (転倒柵式雨量計) の値を用いた。



### 3-2. 解析項目

伐採後の影響評価としては、水資源としてもっとも重要な年間水収支の分析と、洪水流出に影響が強く災害に直接関係する項目として、降雨時のピーク流出量の評価を行った。今回分析が行われた期間は、伐採前および部分伐採後8年間のデータである。

なお水年は暦年と同じく1月～12月とした。

#### 3-2-1. 年流出量

年流出量の解析には単回帰分析を用いた。年降水量と年流出量との関係、および対照区と伐採区の年流出量との関係により、伐採区における年流出量の変化量を求めた。まず伐採前期間のデータを用い、先に示した2つの関係からそれぞれ回帰直線を求めた。伐採区における伐採後の年流出量の実測値と、伐採前期間の回帰直線から求めた「伐採しなかった場合の伐採区における年流出量の推定値」との差を算出し、伐採後の変化量とした。なお、観測期間中に長期間の欠測のあった年は除いた上で、解析を行った。

#### 3-2-2. ピーク流量

ピーク流量とは出水時のハイドログラフにおける流量の最大値である。

対象流域では降雨に対する流量のピークが降雨のピークとほぼ同時に形成されることが分かっているので、ピーク流量の解析では流量の水高換算を行い10分単位の時間刻みとして、mm/10 minの単位で比較を行った。解析は、単独流域法として伐採区において各降雨イベントのピーク雨量とピーク流量の関係を伐採前後で比較した。ここで、降雨イベントは、6時間の無降雨期間をイベントの区切りとして採用している。また対照流域法として、同一降雨に対する伐採区ピーク流量と対照区ピーク流量との関係を伐採前後で比較した。

## 4. 結果

### 4-1. 年流出量

単独流域法による伐採区における年降水量と年流出量との関係を図5に、対照流域法による伐採区の年流出量と対照区の年流出量との関係を図6に示す。図5においては1点を除いて全てのプロットが、図6においては全てのプロットが伐採前期間の回帰直線より上方に分布した。また、図5、図6ど

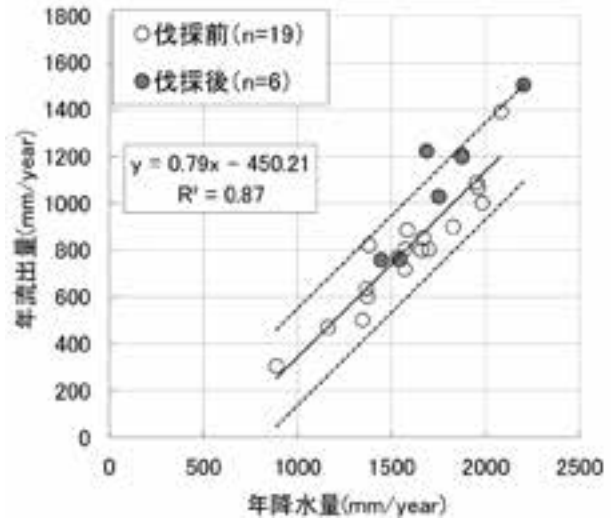


図5. 伐採区における年降水量と年流出量

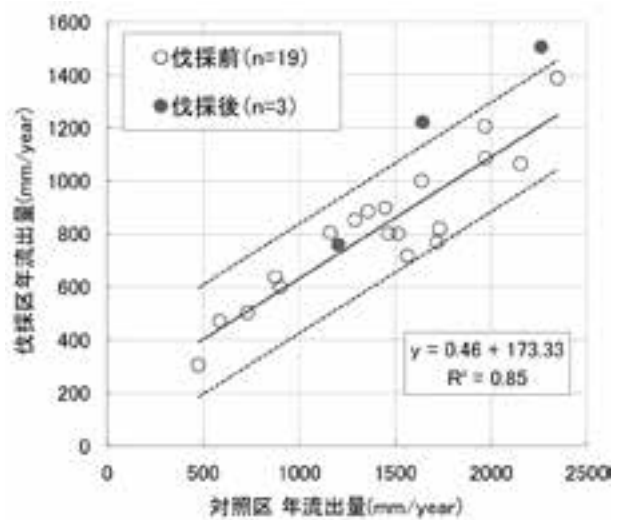


図6. 伐採区年流出量と対照区年流出量の関係

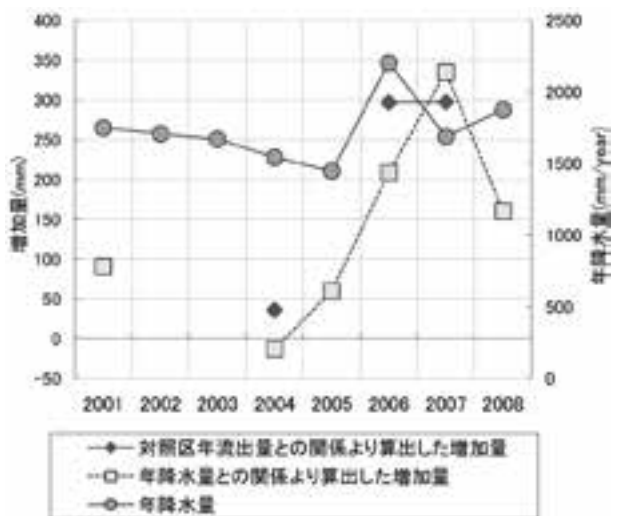


図7. 伐採後の年流出量の増加量

ちらにおいても、伐採後の数点のデータが伐採前期間のデータより得た95%信頼区間(点線)の上方に位置しており、伐採後の年流出量は明らかに増加し



たといえる。

それぞれの関係から求めた伐採区における年流出量の増加量を図7に示す。伐採後6～8年が経過した2006～2008年の増加量が200から350 mmであり、顕著であることが分かる。また、2004年から続く増加量の上昇は、2007年から2008年と比較すると減少していた。

#### 4-2. ピーク流量

伐採区におけるピーク雨量とピーク流量の関係を図8に示した。伐採前に比べて、伐採直後である2001～2002年や、さらに数年経った2003～2005年はピーク雨量に対するピーク流量が増加傾向にあることが分かる。しかしその後、伐採から6～7年が経過した2006～2007年や2008年には再び伐採前の傾向に近づいていることが分かる。

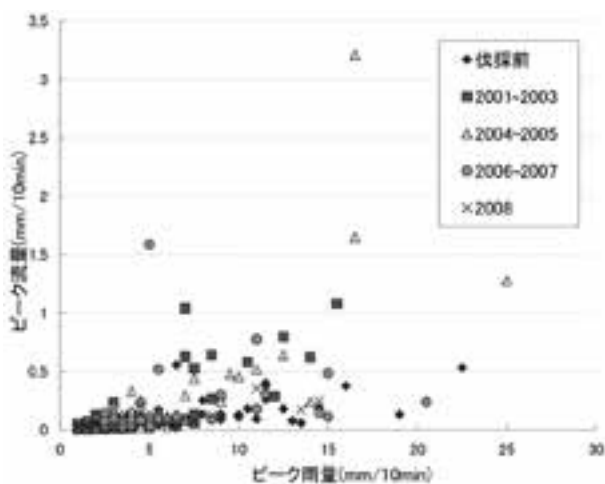


図8. 伐採区におけるピーク雨量とピーク流量の関係

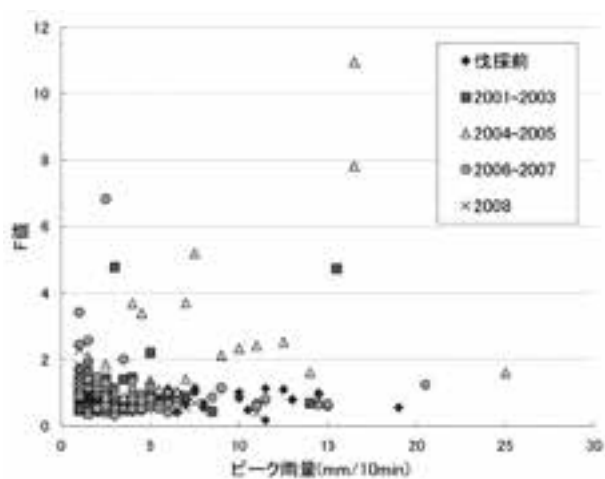


図9. F値を用いた伐採区と対照区のピーク流量の比較

対照流域法として、対照区のピーク流量と比較する際に、以下の(3)式で定義するF値を用いて分析を行った。

$$F = \frac{\text{伐採区のピーク流量 (mm/10 min)}}{\text{対照区のピーク流量 (mm/10 min)}} \dots\dots\dots (3)$$

このF値を用いることで、期間ごとの比較を容易にすることができる。図9にピーク雨量と各期間のF値の分布を示した。伐採前のF値は、ばらつきがあるものの0.2から1.1までの値の間にあった。ところが、伐採直後である2001～2003年や、さらに数年経った2004～2005年はF値が2を超える現象が多く起こったことが分かる。いくつかの降雨イベントでは、F値が4を超えることがあった。これは、対照区のピーク流量に対する伐採区のピーク流量が増加したことを示している。しかしその後2006～2007年や2008年には伐採前の同様の傾向に戻っていることが分かる。2008年においては、ピーク雨量強度の小さい降雨イベントにおいて、わずかにF値が2を超える現象がみられた程度である。

### 5. 考察

#### 5-1. 年流出量

本研究において、部分伐採により伐採後に年流出量が350 mm 近く増加したことを示した。伐採による年流出量の増加は、流域蒸発散量の減少として説明できる。伐採によって樹冠が失われ、地表面が風や日射の影響を受けやすくなり、林床面蒸発は増加するものの、伐採された樹木が伐採前に行っていた蒸散や樹冠遮断量が大きいため、蒸発散の総量は伐採後に減少する。ただし植栽木が成長するにしたがって年流出量の増加量は減少する (たとえば中野1971)。

しかし、本研究では伐採後6～8年が経過してからの年流出量の増加が顕著であった。これは植栽を終え数年が経過した後も複合的な理由により蒸発散量が小さく抑えられていたためと考えられる。蒸発散量は一般に蒸散、樹冠遮断、林床面蒸発に分けることができるが、今回の解析には降水量、流出量のデータしか用いていないため、これら1つ1つの増減についての情報を得ることは非常に困難である。2006～2008年の増加量が大きかったことは、植栽木の樹冠が形成され林床面蒸発が抑制される一方で、植栽木の樹齢が若く葉量が少ないことから、蒸散量や遮断量も少量であったことなどが考えられた。ま

た、今回の部分皆伐は流域下部であったため、斜面上部のスギ・ヒノキ林からリターが供給されることによって林床面蒸発がより抑えられていたという可能性も考えられる。なお、2008年には前年より増加量が減少したことから、蒸発散量が増加に転じた可能性がある。今回の事例と同様の事例として、皆伐後翌年に再植栽をした結果、伐採後、年流出量の増加量が経年的に大きくなるという事例（真板ら2005）がある。この事例では植栽木の成長と蒸発散量の変化を関連づけた考察がなされている。

## 5-2. ピーク流量

単独流域法による結果では、伐採後は伐採以前と同程度の雨量強度であっても、ピーク流量が大きくなる事例が多くみられた。対照区との比較においても、伐採区のピーク流量は、伐採以前では対照区のピーク流量に対して0.2倍から1.1倍程度のピーク流量であったものが、伐採後は4倍を超える事例が複数見られた。これらは、流域下部の皆伐がピーク流量の増大に顕著に影響したことを示している。これらの増加は、樹冠の除去により地表面への直達成分としてピーク流出に加わったためと考えられる。しかし植栽後、再び樹冠が形成されるに従ってその影響が薄れていったため、伐採から6～8年後には再び伐採前の傾向に近づいたということが考えられる。これらの評価については、より長期間の情報の蓄積と詳細な流出分析が必要であると考えられる。

## 6. 結論

本研究はスギ・ヒノキ林流域における斜面下部の部分伐採が河川流出に与える影響を評価するという目的で行われた。伐採によって年流出量は増加したが、伐採後7年目で流出量増加量が最大となり、増加量の経年変化が既往の研究結果と比べて異なっており、今後の更なる考察を加えることが望ましい。防災という観点からはピーク流量が伐採後数年の間は増加を示したという点で負の影響を与えたといえるが、その影響も伐採から6～8年で明瞭でなくなっていた。

以上の結果は、単独流域法、対照流域法の両方の分析から同様に得られたものであり、精度の高い観

測が行われているということが出来る。また、今後のモニタリングを進めていくことで、利用可能な水資源量の評価や洪水流出に対する施業の評価が確立できるものと考えられる。

## 謝辞

本研究を進めるのにあたり、東京農工大学農学部附属FSセンターFM大谷山ならびにFM草木の職員の皆さまには、データの収集をはじめ観測の安全に関する助言に至るまで、多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

## 引用文献

- Bosch J.M. and Hewlett J.D. (1982): A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55: 3-23
- 中野秀章 (1976): 森林水文学, 共立出版
- 中野秀章 (1971): 森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響 *林試研報*240: 166-191
- 真板英一・鈴木雅一・太田猛彦 (2005): 新第三紀層流域における70年生スギ・ヒノキ林伐採による年流出量の変化 *日林誌*87: 124-132
- 大類清和 (1995): 森林小流域での渓流水質の形成機構に関する研究, 東京農工大学大学院博士論文: 242 p.
- Shiraki K., Shinomiya Y., Urakawa R., Toda H., Haibara K. (2007): Numerical calculation of secondary discharge peak from a small watershed using a physically based watershed scale infiltration simulation. *Journal of Forest Research* 12: 201-208
- 玉手三稜寿 (1923): 有林地と無林地とに於ける水源涵養比較試験 *林業試験場研究報告*23: 63-100.
- 塚本良則 (1992): 森林水文学, 文英堂出版
- 塚本良則・城戸毅 (1989): 森林伐採による年流出量の増加について *水利科学*161: 26-38
- 浦川梨恵子 (2007): スギ・ヒノキ高齢人工林の斜面下部伐採が土壌及び溪流の水質に及ぼす影響 東京農工大学大学院博士論文

## 論文

## ポリリン酸のリン酸肥料としての評価

松村 昭治\*<sup>1</sup>・大石 真子\*<sup>2</sup>・清水 正\*<sup>3</sup>・岡崎 正規\*<sup>4</sup>

## Polyphosphate as a phosphate fertilizer

Shoji MATSUMURA\*<sup>1</sup>, Naoko OISHI\*<sup>2</sup>, Tadashi SHIMIZU\*<sup>3</sup>, Masanori OKAZAKI\*<sup>4</sup>

Polyphosphate recovered from municipal sludge by the activated sludge process is often used as phosphate fertilizer in agriculture. For its effective use, information on its dynamic phase and plant uptake after the application is required. Although Dick and Tabatabai (1987) showed that polyphosphate was easily hydrolyzed in soil and was available to young plants in a short term experiment, there is no information on the changes in plant uptake and availability over time. In this study, a pot experiment was carried out to verify the result of Dick and Tabatabai and to measure the temporal changes of polyphosphate applied to soil and the uptake by plants, using soybean, tomato and oat. The results showed that every crop absorbed more phosphorus significantly from the polyphosphate plots than the control plots without phosphorus addition. Soil available phosphorus was slightly increased in the polyphosphate plots from the early stage of cultivation, suggesting that polyphosphate was available to plants as a phosphate fertilizer. The recovery rate, absorbed amount and the absorption feature of phosphorus from polyphosphate were similar as the water-soluble sodium phosphate and the recovery rate reached up to about 20%, which suggests that the most available phosphorus hydrolyzed from the polyphosphate is quickly immobilized by combination with iron and aluminum in Andosol that has strong phosphate adsorption properties.

*Keywords* : polyphosphate, soybean, tomato, oat, Andosol

活性汚泥法により下水汚泥から回収されたポリリン酸をリン酸肥料として効率的に農業利用するためには、ポリリン酸施用後のリンの動態や作物による吸収に関する知見が必要である。Dick and Tabatabai (1987) は直鎖状ポリリン酸のナトリウム塩またはアンモニウム塩が土壤中で容易に加水分解され、植物に利用されうることを示した。本研究では、彼らの試験結果を検証するとともに、植物によるポリリン酸吸収量および土壤中の可給態リンの経時的变化を明らかにすることを目的として、ダイズ、トマト、エンバクの栽培試験を行った。その結果、いずれの作物においても、ポリリン酸区ではリン無施用区よりも明らかにリン吸収量が増大し、また、土壤中可給態リンも初期にわずかながら増加したことから、ポリリン酸がリン酸肥料として有効であることが確認された。ポリリン酸のリンの利用率、吸収量および吸収パターンは水溶性のリン酸一ナトリウムと同様で、リン利用率は最大でも約20%に過ぎなかった。リン酸吸収力の強い黒ぼく土では、ポリリン酸から加水分解された可給態リン酸の大部分は鉄やアルミニウムと速やかに結合して不可給態化して蓄積すると推察した。

**キーワード** : ポリリン酸, ダイズ, トマト, エンバク, 黒ボク土

2013. 11. 27受付; 2014. 01. 14受理

\*<sup>1</sup> 東京農工大学農学部 (〒183-8509 府中市幸町3-5-8)

\*<sup>2</sup> 東京農工大学農学部 (現所属: 明治製菓株式会社)

\*<sup>3</sup> 旭化成株式会社 (〒416-8501 静岡県富士市鯨島2-1)

\*<sup>4</sup> 東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所 (現所属: 石川県立大学生物資源環境学部, 〒921-8836 石川県野々市市末松1-308)

† 連絡担当著者: 松村昭治



## 1. はじめに

下水や工場廃水に含まれるリンを除去する方法の一つとして、ポリリン酸蓄積細菌を利用したリン除去技術がある<sup>1),2)</sup>。この細菌は、嫌気条件では廃水中から低分子有機酸を取り込んで多糖類やポリ-β-ヒドロキシ酪酸などの物質として蓄積するが、好気条件に移すと、これらの分解により得たエネルギーを用いて体外の無機リンを急速に取り込み、ポリリン酸として蓄積する。この性質を利用した嫌気-好気活性汚泥法 (A-O 法) によると、汚泥のリン含有率は通常の2%から4~8%に上昇する<sup>3)</sup>。

この技術により汚泥から回収されたポリリン酸をリン資源として農業で再利用する技術が現在検討されている<sup>4),5)</sup>。しかし、現在のところ、ポリリン酸を土壤に混合した場合のリンの動態や作物による吸収などに関する研究は Dick and Tabatabai<sup>6)</sup>, Valikhhanov ら<sup>7)</sup>, Yanishevski ら<sup>8)</sup>の報告以外に見当たらない。彼らは共通点として、直鎖状ポリリン酸のナトリウム塩またはアンモニウム塩が土壤中で容易に加水分解され、植物に利用されうことを示した。

本研究では、これらの試験結果を検証するとともに、植物によるポリリン酸吸収量の経時的变化および土壤中の可給態リン含有率に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、作物栽培試験を行った。

## 2. 材料および方法

東京農工大学農学部附属フィールドサイエンスセンター府中畑圃場のアロフェン黒ボク土 (表1) を風乾後2 mm のふるいにかけ、栽培供試土壤とした。試験区として、リン無施用区 (以下 NP 区)、リン酸二水素一ナトリウム区 (P 1 区)、25-ポリリン酸ナトリウム区 (P 25 区) および75-ポリリン酸ナトリウム区 (P 75 区) の4区を設けた。使用したポリリン酸は、リン酸が直鎖状に25個または75個結合したナトリウム塩 (Sigma Chemical Co.より購入) である。

上記土壤350 g に硫酸アンモニウム、各リン資材

および硫酸カリウムをそれぞれ N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O として150 kg ha<sup>-1</sup>となるように添加し、また、ポリリン酸とともに添加されるナトリウム量をそろえるために、すべての試験区で65 kg Na ha<sup>-1</sup>となるように塩化ナトリウムで調整した。ここでは1 haあたりの土壤を700トンと仮定して資材等の添加量を算出した。こうして調製した土壤を、直径8 cm、深さ12 cm (容量約400 mL) のプラスチックポットに詰めた。

供試作物として、ダイズ (*Glycine max* Merr., 品種エンレイ)、トマト (*Lycopersicon esculentum* Mill., 品種桃太郎) およびエンバク (*Avena sativa* L., 品種ニューオーツ) を2003年5月28日に播種し、25℃一定のファイトロン内で3ヶ月間栽培した (4 施肥処理×3 種植物×3 時期×2 連)。土壤中で可給態化したすべてのリンが速やかに吸収されることを意図して、ダイズ、トマトおよびエンバクのポットあたりの栽植密度をそれぞれ1, 3 および10個体とした。種子含有リンとしてポットに添加された量は、ダイズ2.03 mgP、トマト0.09 mgP、エンバク0.34 mgP であった。

栽植の高密度によって起こる相互遮蔽はポット間隔を調整することにより回避した。また、有底ポットであるため、底部に水が停滞しないように、土壤表面が乾燥したときのみ、50~100 mL の蒸留水を灌水した。播種30日後 (6月27日)、61日後 (7月28日) および90日後 (8月26日) に各試験区から2ポットずつ取り出し、それぞれポットを外して地下部を振動させることにより根と土壤を分離した。さらに、根の表面に付着した土壤を水洗により除去後、植物体を通風乾燥機 (80℃) で乾燥して乾物重を測定した。土壤は混入した根をピンセットで取り除き、室内に広げて風乾した。植物体は粉碎して硫酸-過塩素酸で湿式分解後、バナドモリブデン酸法<sup>9)</sup>でリン含有率を、土壤はブレイ II 法 (準法)<sup>10)</sup>で可給態リンを測定した。リン吸収量は植物体のリン含有量から種子のリン含有量を差し引いて求めた。また、リン施用区 (P 1, P 25, P 75) のリン吸収

表1 供試土壤の性質

土性	pH (H <sub>2</sub> O)	全窒素* Ngkg <sup>-1</sup>	全炭素* Cgkg <sup>-1</sup>	C/N 比	全リン Pgkg <sup>-1</sup>	可給態リン** Pmgkg <sup>-1</sup>	リン酸吸収係数 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gkg <sup>-1</sup>
壤土	5.8	5.62	86.7	15.4	2.32	6.71	23.4

\* NC アナライザー (住化分析センター, NC-80 AUTO) による。

\*\*ブレイ第二法 (準法)<sup>10)</sup>による。



量からリン無施用区 (NP) のリン吸収量を差し引いた量を資材由来のリン吸収量とし、リン施用量に対する割合を利用率とした。

利用率 (%) = [(リン施用区のリン吸収量) - (リン無施用区のリン吸収量)] ÷ (リン施用量) × 100

データについては、サンプリング時ごとおよび作物ごとに Tukey-Kramer 法<sup>11)</sup>で多重比較検定を行った。

### 3. 結果および考察

#### 1) 作物の生育

ダイズ、トマトおよびエンバクの乾物重は播種 2 ヶ月後 (61日後) 以降頭打ちの傾向を示し、試験区間に差が認められるようになった (図 1)。トマトでは播種 2 ヶ月後以降、すべての試験区において程度の差はあるが葉が暗紫色となり、典型的なリン欠乏の症状を呈した。ダイズとエンバクでは葉色の変化は明らかでなかったが、下葉の枯死が認められたことから、播種 2 ヶ月後以降、すべての植物体がリン不足状態にあったと考えられた。

ダイズでは播種 2 ヶ月後に NP 区の乾物重が有意

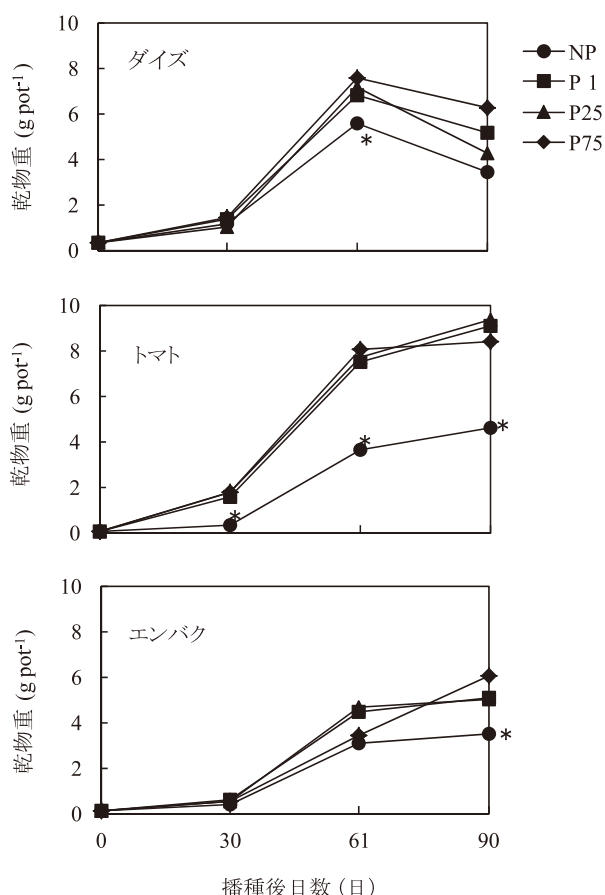


図 1 ダイズ、トマト、エンバクの乾物重の推移  
\*, 危険率 5% で他区と有意差があることを示す。

に低かったが、リン施用区との差はわずかであった。これは、ダイズの種子が大きく、リン含有量が多いことによると考えられる。図 1 では 2 ヶ月目以降すべての試験区で乾物重が低下していたが、これは下葉の落葉を含めていないためである (落葉を試験区別に回収できなかった)。P1, P25, P75 の区間においては有意差は認められなかった。

トマトでは播種 1 ヶ月後 (30日後) から NP 区の生育が有意に劣り、2 ヶ月後以降、NP 区と他の 3 区との差はさらに拡大した。これは、トマトの種子含有リンが非常に少ないことによると考えられた。リン施用の 3 区間には差が認められなかった。

エンバクでは NP 区と他区との生育差はトマトほど大きくなかったが、乾物重の推移傾向はトマトと同様であった。

#### 2) リン吸収量の推移およびポリリン酸の利用効率

リン吸収量はいずれの試験区においても播種 2 ヶ月後には頭打ちとなり、3 ヶ月後 (90日後) の増加はほとんど認められなかった (表 2)。P1 区のリン酸二水素一ナトリウムは水溶性であり、黒ボク土に施用されると容易に吸着固定されることから、施用されたリンのうち播種 2 ヶ月後までに作物に吸収された部分以外はほぼすべて土壌に固定されたと考えられる。P25 区および P75 区においても P1 区と同様な傾向が認められたことから、両ポリリン酸塩の土壌中における動態はリン酸二水素一ナトリウムに類似していたと推察される。また、リン施用区のリン吸収量は NP 区に比較して有意に多く、この傾向はとくに播種 1 ヶ月後で顕著であった。しかし、リン施用区間 (P1, P25, P75) には差が認められなかった。

NP 区におけるリン吸収量をみると、ダイズでは 0.14 mg P pot<sup>-1</sup> (1 ヶ月後), 2.51 mg P pot<sup>-1</sup> (2 ヶ月後), 1.96 mg P pot<sup>-1</sup> (3 ヶ月後) であったのに対し、トマトとエンバクではそれぞれ 0.57, 0.62 mg P pot<sup>-1</sup> (1 ヶ月後), 3.47, 3.7 mg P pot<sup>-1</sup> (2 ヶ月後), 3.41, 3.40 mg P pot<sup>-1</sup> (3 ヶ月後) であり、ダイズのリン吸収力が弱いことが推察された。

作物別にみると、ダイズにおいては播種 2 ヶ月後のリン吸収量が NP 区で約 2.5 mg P pot<sup>-1</sup> であったのに対し、他の 3 区では約 2 倍になり、最大値は 5.9 mg P pot<sup>-1</sup> であった。また、P1 区を除き 3 ヶ月後に吸収量が減少したが、これはダイズの乾物重の推移と同様に落葉の取り扱いによる。トマトでは、リン施用区における播種 1 ヶ月後のリン吸収量

が3.68~3.94 mg P pot<sup>-1</sup>となり、ダイズ (0.32~0.95 mg P pot<sup>-1</sup>) およびエンバク (1.46~1.86 mg P pot<sup>-1</sup>) と比較すると顕著に多かった。2ヶ月後以降はダイズとエンバクのリン吸収量が増加し、トマトとの差は縮小したが、最後までトマトの吸収量を超えることはなかった。このことから、トマトはとくに生育初期に強いリン吸収力を発揮する性質を持つと推察される。エンバクのリン吸収パターンはダイズとほぼ同様であった。

供試したポリリン酸の利用率を表3に示した。いずれの作物においてもP1, P25, P75の区間に差が認められず、P25およびP75のポリリン酸はP1

表2 リン吸収量の推移 (mg P pot<sup>-1</sup>)

作物	試験区	播種後日数(日)		
		30	61	90
ダイズ	NP	0.14 <sup>b</sup>	2.51 <sup>b</sup>	1.96 <sup>c</sup>
	P1	0.95 <sup>a</sup>	4.19 <sup>ab</sup>	4.74 <sup>ab</sup>
	P25	0.32 <sup>b</sup>	5.55 <sup>a</sup>	3.64 <sup>b</sup>
	P75	0.87 <sup>a</sup>	5.90 <sup>a</sup>	5.50 <sup>a</sup>
トマト	NP	0.57 <sup>b</sup>	3.47 <sup>c</sup>	3.41 <sup>b</sup>
	P1	3.68 <sup>a</sup>	7.23 <sup>b</sup>	8.66 <sup>a</sup>
	P25	3.94 <sup>a</sup>	8.00 <sup>ab</sup>	9.46 <sup>a</sup>
	P75	3.91 <sup>a</sup>	8.80 <sup>a</sup>	7.95 <sup>a</sup>
エンバク	NP	0.62 <sup>b</sup>	3.70 <sup>b</sup>	3.40 <sup>b</sup>
	P1	1.86 <sup>a</sup>	6.82 <sup>a</sup>	6.63 <sup>a</sup>
	P25	1.46 <sup>a</sup>	7.26 <sup>a</sup>	6.57 <sup>a</sup>
	P75	1.64 <sup>a</sup>	6.86 <sup>a</sup>	7.76 <sup>a</sup>

注) 同一作物の試験区間において同一の英文字を付した数値間には有意差がない (Tukey-Kramer,  $P < 0.05$ ).

表3 ポリリン酸の利用率の推移

作物	試験区	播種後日数(日)		
		30	61	90
ダイズ			%	
	P1	2.49 <sup>a</sup>	5.14 <sup>a</sup>	8.51 <sup>ab</sup>
	P25	0.57 <sup>a</sup>	9.28 <sup>a</sup>	5.12 <sup>b</sup>
	P75	2.24 <sup>a</sup>	10.36 <sup>a</sup>	10.83 <sup>a</sup>
トマト	P1	9.52 <sup>a</sup>	11.51 <sup>a</sup>	16.06 <sup>a</sup>
	P25	10.31 <sup>a</sup>	13.86 <sup>a</sup>	18.51 <sup>a</sup>
	P75	10.22 <sup>a</sup>	16.30 <sup>a</sup>	13.90 <sup>a</sup>
エンバク	P1	3.79 <sup>a</sup>	9.55 <sup>a</sup>	9.88 <sup>a</sup>
	P25	2.57 <sup>a</sup>	10.90 <sup>a</sup>	9.69 <sup>a</sup>
	P75	3.10 <sup>a</sup>	9.66 <sup>a</sup>	13.31 <sup>a</sup>

注1) 利用率(%) = [(リン施用区のリン吸収量) - (リン無施用区のリン吸収量)] ÷ (リン施用量) × 100

注2) 同一作物の試験区間において同一の英文字を付した数値間には有意差がない (Tukey-Kramer,  $P < 0.05$ ).

(リン酸二水素一ナトリウム)と同様に作物に利用されることが示唆された。ダイズでは3ヵ月後におけるP25区の利用率が有意に低くなったが、これは低い乾物重を反映した結果である(図1)。P25区の乾物重が低くなった理由は、2ヶ月後の乾物重はP75区と同等であったことを考慮すると、ポリリン酸の種類によるものではないと考えられる。

リン利用率を作物間で比較すると、播種1ヶ月後には、ダイズで0.57~2.49%, エンバクで2.57~3.79%であったのに対し、トマトでは9.52~10.33%となり、いずれの区においてもトマトで著しく高かった。播種2ヶ月後以降もリン利用率はトマトで高く推移し、3ヵ月後には13.9~18.5%に達した。リンの吸収には根張り、菌根菌の共生、有機酸の分泌などの関与が考えられるが、本試験ではこれらの要因との関係は明らかでなかった。

### 3) 土壌中可給態リンの推移

供試土壌の可給態リン含有率は6.71 mg P kg<sup>-1</sup>であり、きわめて低かった(表1)。この土壌に3種類の資材でそれぞれ93.6 mg P kg<sup>-1</sup>のリンが添加されたことになる。土壌中可給態リンは、ダイズとトマトでは播種1ヶ月後から2ヵ月後まではすべての区で増加傾向が認められたが、エンバクでは1ヶ月後の可給態リンがやや高く、2ヶ月後以降低下する傾向を示し、作物間で違いがみられた(表4)。これは作物の生育パターンの違いによるものと考えられる。播種3ヶ月後の土壌可給態リンは、ダイズのP25区以外のすべての区でNP区よりもリン施用区で

表4 土壌中可給態リンの推移 (mg P kg<sup>-1</sup>乾土)

作物	試験区	播種後日数(日)		
		30	61	90
ダイズ	NP	4.92 <sup>d</sup>	5.62 <sup>b</sup>	5.79 <sup>c</sup>
	P1	7.52 <sup>b</sup>	8.65 <sup>a</sup>	8.91 <sup>a</sup>
	P25	5.89 <sup>c</sup>	8.98 <sup>a</sup>	5.33 <sup>cd</sup>
	P75	11.03 <sup>a</sup>	7.73 <sup>ab</sup>	7.37 <sup>b</sup>
トマト	NP	5.82 <sup>b</sup>	6.50 <sup>b</sup>	4.37 <sup>c</sup>
	P1	8.94 <sup>a</sup>	11.23 <sup>a</sup>	8.34 <sup>a</sup>
	P25	6.53 <sup>b</sup>	8.84 <sup>ab</sup>	5.96 <sup>b</sup>
	P75	7.74 <sup>ab</sup>	9.24 <sup>ab</sup>	5.78 <sup>b</sup>
エンバク	NP	7.13 <sup>b</sup>	5.55 <sup>b</sup>	4.54 <sup>c</sup>
	P1	10.94 <sup>a</sup>	8.14 <sup>a</sup>	6.15 <sup>ab</sup>
	P25	8.52 <sup>b</sup>	7.87 <sup>ab</sup>	6.22 <sup>a</sup>
	P75	7.63 <sup>b</sup>	6.76 <sup>ab</sup>	5.19 <sup>bc</sup>

注) 同一作物の試験区間において同一の英文字を付した数値間には有意差がない (Tukey-Kramer,  $P < 0.05$ ).

有意に高かった。リン施用区においては、ダイズとトマトではP 1区の可給態リンがP 25区, P 75区よりも有意に高かったが、差はわずかであった。3か月後における土壤可給態リンは $4.4 \text{ mg P kg}^{-1}$  (トマトのNP区) ~  $8.9 \text{ mg P kg}^{-1}$  (ダイズのP 1区)の範囲にあった。

以上の結果、ポリリン酸資材中のリンの土壤中での動態については以下のように推察される。ポリリン酸が土壤に施用されると、ほぼ全量が速やかに加水分解され、土壤の有機物や粘土鉱物に吸着・保持される。植物が栽培されると、有機物吸着リンのように比較的弱く吸着されたリンの一部が溶出して植物に吸収されるが、大部分は不可給態として土壤に残存すると考えられる。ポリリン酸を施用した区では、リン無施用区よりも明らかに吸収量が増大し、また、土壤中可給態リンも初期にわずかながら増加したことから、供試したポリリン酸に施用効果があることが確認された。しかし、ポリリン酸のリン利用率は最大で約20%に過ぎず、また、利用率だけでなく、リン吸収の量やパターンもリン酸一ナトリウムと同様であった。ポリリン酸の大部分が土壤中に不可給態として蓄積する機構は明らかでないが、Dick and Tabatabai<sup>9)</sup>はポリリン酸が土壤中で速やかに加水分解されることを報告していることから、リン酸吸収の強い黒ボク土では鉄やアルミニウム等と結合して不可給態化した可能性が大きいと推察される。

今回供試したポリリン酸はナトリウム塩であり、塩基組成が異なる場合やポリリン酸集積細菌の菌体含有リンにまで拡大解釈することはできないが、作物による吸収利用性は十分に高いと推測される。今後、加水分解の速度を制御することができれば、利用率が格段に高まると期待される。

## 文 献

- 1) 中村和憲：環境と微生物－環境浄化と微生物生存のメカニズム－, p.69-84, 産業図書, 東京 (1998)
- 2) 大竹久夫・黒田章夫・滝口 昇・加藤純一：リンの回収と再資源化, *Phosphorus Letter*, 50, 9-17 (2004)
- 3) 大森俊雄編著：環境微生物学－環境バイオテクノロジー－, p.61-62, 昭晃堂, 東京 (2000)
- 4) Kuroda, A., Takiguchi, N., Gotanda, T., Nomura, K., Kato, J., Ikeda, T., Ohtake, H.: A simple method to release polyphosphate from activated sludge for phosphorus reuse and recycling. *Biotechnol. Bioeng.*, 78, 333-338 (2002)
- 5) Takiguchi, N., Kuroda, A., Kato, J., Nukanobu, K., Ohtake, H.: Pilot plant tests on the novel process for phosphorus recovery from municipal wastewater. *J. Chem. Eng.*, 36, 1143-1146 (2003)
- 6) Dick, R. P. and Tabatabai, M. A.: Polyphosphate as sources of phosphorus for plants. *Fertilizer Research*, 12, 107-118 (1987)
- 7) Valikhanov, M. N., Beknazarov, B. O. and Igamnazarov, R. P.: Study of the possible role of polyphosphates as a source of phosphorous nutrition for cotton plants. *Fiziologiya Rastanii*, 27 (2), 296-300 (1980) (Referred from the Chemical Abstract)
- 8) Yanishevski, F. V., Prokosheva, M. A., Zhestkova, V. M. and Polyakova, G. V.: Effectiveness and assimilability of liquid and solid ammonium polyphosphates on sierozem. *Agrokhimiya*, 5, 3-12 (1975) (Referred from the Chemical Abstract)
- 9) 作物分析法委員会編：栄養診断のための栽培植物分析測定法, p.69-70, 養賢堂, 東京 (1975)
- 10) 土壤環境分析法編集委員会編：土壤環境分析法, p.269-270, 博友社, 東京 (1997)
- 11) 柳井久江：『4 steps エクセル統計第2版』, オーエムエス出版, 埼玉, pp.81-162, (1998)

## 資料

## 北海道渡島駒ヶ岳の登山道沿いにおける外来草本の分布状況

斎藤 達也

## Distribution of non-native herbaceous plants along a mountain trail on Mount Koma, Hokkaido, northern Japan

Tatsuya I. SAITO

The distribution patterns of non-native herbaceous plants were investigated along Akaigawa mountain trail on the southwestern slope of Mount Koma in Hokkaido, northern Japan, at 20th and 21th of July 2011. In total, 26 non-native herbaceous plant species were recorded. Individuals having reproductive organs (i. e., flower, fruit or seed) were observed in 24 species. Among them, *Anthoxanthum odoratum*, *Taraxacum officinale*, *Oenothera biennis*, *Rumex acetosella*, *Trifolium repens* and *Trifolium pratense* were widely distributed along the trail.

**Key words :** Onuma Quasi-national Park, biological invasion, roadside

北海道渡島駒ヶ岳の南西斜面の赤井川登山道沿いにおいて、外来草本の分布状況を調査した。2011年7月20日、21日に調査を実施した。全体で計26種の外来草本種が確認され、その内の24種において生殖器官（花、果実、種子）を有した個体が観察された。ハルガヤ、セイヨウタンポポ、メマツヨイグサ、ヒメスイバ、シロツメクサ、ムラサキツメクサは調査区全体に広く分布していた。

キーワード：大沼国定公園、生物学的侵入、路傍

## はじめに

北海道南部に位置する渡島駒ヶ岳（標高1131 m）は、1929年に大噴火し、1996年から2000年にかけても小噴火を繰り返した活火山である。本山の斜面には火山性礫地の植物や海岸植物からなる特色ある植物相が成立している（露崎ら、2001）。また、活火山特有の優れた景観が発達していることから、山頂付近は大沼国定公園の特別保護地区に指定されている。このように渡島駒ヶ岳は植物および景観保全上貴重な場所である。

近年、山岳地域では外来草本による生物学的侵入が頻繁に確認されており、その生態系への影響が懸念されている（Johnston and Pickering, 2001）。山

岳地域において、登山道は外来草本の生育地として機能し、在来植生への侵入の足掛かりとなることが多い（Pickering and Hill, 2007）。現在の渡島駒ヶ岳斜面の在来植生では外来草本はほとんどみられないが（Uesaka and Tsuyuzaki, 2004）、本山登山道沿いの外来草本の分布状況の把握は、今後の在来植生への生物学的侵入を理解し、本山の植物と景観の保全を講じる上で有益と考えられる。そこで、本稿では、渡島駒ヶ岳南西斜面の登山道沿いにおいて外来草本の分布状況を記録した。なお、植物種の学名は The Plant List (2010) に、生活型は宮脇ら (1994) に、原産地および北海道への侵入時期は五十嵐 (2001) に拠った。

2013. 11. 20受付；2013. 11. 29受理

東京農工大学大学院農学研究院 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 : Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu-shi, Tokyo, 183-8509, Japan

連絡担当著者：斎藤 達也

連絡先：Tel : 042-367-5829 Mail : tat.saito.i@gmail.com



## 方 法

調査地は北海道南部の渡島駒ヶ岳南西斜面に位置する赤井川登山道である (Fig. 1)。本調査地は冷温帯に属する。近隣の森町では、2011年の年平均気温は7.9°C、年降水量は932.5 mmであった (気象庁, 2013)。斜面は貧栄養で乾燥した火山灰と軽石に覆われている (Uesaka and Tsuyuzaki, 2004)。本山では、山麓の植林地から逸出した外来高木のカラマツ (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière) による樹林化が低標高域ほど進んでおり、カラマツは標高800 m付近の高標高域においても侵入しつつある (Akasaka and Tsuyuzaki, 2009)。また、カラマツの樹冠は在来植生の構造に影響を与えている (Titus and Tsuyuzaki, 2003)。このため、本稿で

は、カラマツによる被覆を受けていない植生のことを在来植生と呼んだ。また、在来植生への侵入が顕著なカラマツ以外の外来植物種は現時点では確認されていない (Uesaka and Tsuyuzaki, 2004; Tsuyuzaki and Hase, 2005)。在来植生を構成する維管束植物は主に低木と多年草であり、その植被率は疎である (Tsuyuzaki and Hase, 2005)。主な低木種はミネヤナギ (*Salix reinii* Franch. & L. Sav.) とシラタマノキ (*Gaultheria pyrolloides* Hook. f. & Thomson ex Miq.) である (Uesaka and Tsuyuzaki, 2004)。多年草では、ヒメスゲ (*Carex oxyandra* (Franch. & Sav.) Kudô) やヒメノガリヤス (*Calamagrostis hakonensis* Franch. & Sav.), ススキ (*Miscanthus sinensis* Andersson) などが普遍的であり、山頂付近では、タルマエソウ (*Pennellianthus frutescens* (Lamb.)

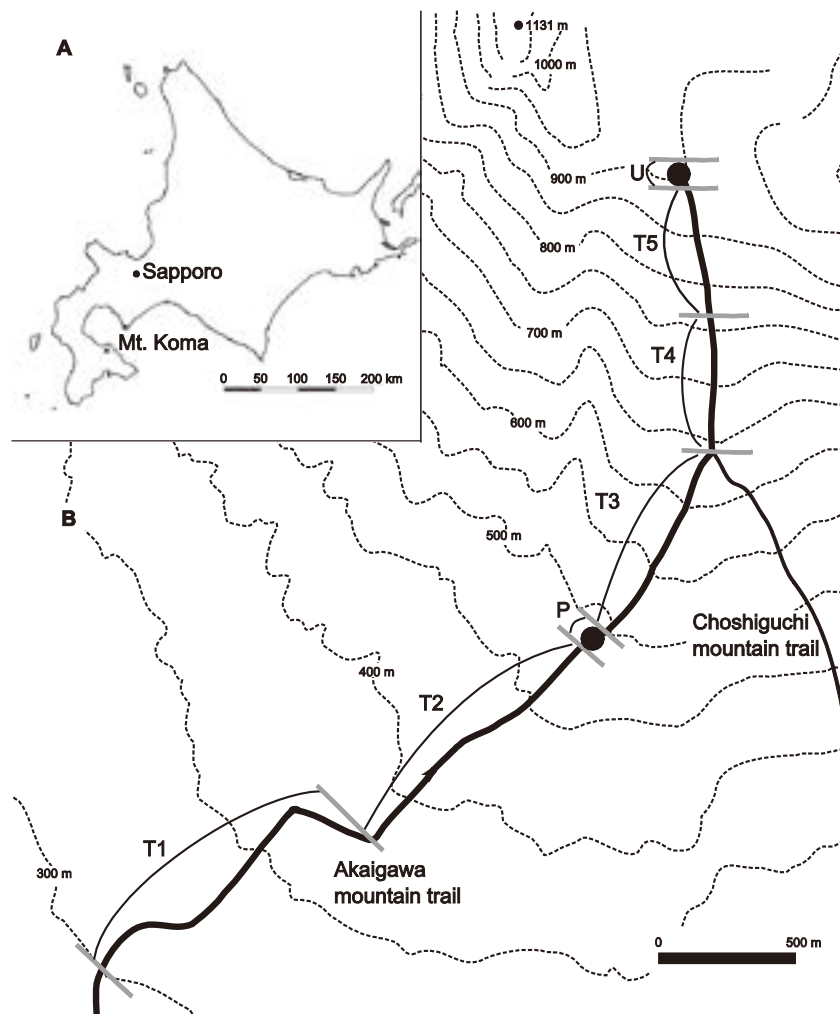


Fig.1. Study area. A: Location of Mount Koma on Hokkaido, northern Japan. B: Census route. Black solid lines are mountain trails, and the thickest line is a surveyed trail. Black closed circles (P and U) represent rest areas for hikers. P also has parking spaces for hikers. The boundaries of surveyed sites are represented by thick gray lines.

Crosswhite) やイワギキョウ (*Campanula lasiocarpa* Cham.) なども構成種となる (Uesaka and Tsuyuzaki, 2004; Tsuyuzaki and Hase, 2005)。また、標高250 m から標高340 m 付近の赤井川登山道の周辺には、ミズナラ (*Quercus mongolica* subsp. *crispula* (Blume) Menitsky) やシウリザクラ (*Padus ssiiori* (F. Schmidt) C. K. Schneid.) からなる二次林が発達している (西・露崎, 2002)。

2011年7月20日, 21日に2種類の植物分布調査を行った。標高300 m から標高900 m (馬ノ背) の範囲の赤井川登山道を5つの調査区間に分割し, それぞれの登山道沿いを第1の調査対象とした (T1, T2, T3, T4, T5; Fig. 1)。再調査の実施を考慮し, 簡便に識別できる既設の人工物を基準として各調査区間を設定した。また, 登山道沿いは道の縁から外側1 m の範囲と定義した。第1の調査では, 各調査区間の登山道沿いに分布する外来草本を徒歩および目視により探索し, 出現した外来草本の種名を全て記録した。また, 生殖器官 (花, 果実, 種子) の有無も種ごとに記録した。第2の調査では, 登山客の休憩場所2か所を調査地点とした (P, U; Fig. 1)。調査地点全域で徒歩と目視による外来草本の探索を行い, 出現した外来草本の種名とその生殖器官の有無を記録した。

各調査区間および調査地点の詳細を以下に示す (Fig. 1)。T1はコンクリート舗装道であり, 最も標高が低い (標高300 m~380 m)。T1以外の調査区間は全て未舗装道となる。T2はT1と6合目駐車場 (P) の入り口の間の区間とした (標高380 m~480 m)。Pは6合目にある未舗装の駐車場であり, 便所や東屋等の施設を備えており, 多くの登山客が休憩場所として利用している (標高480 m~490 m)。Pよりも高標高域への車両による入山は禁止されている。T3はPの出口から銚子口登山道との交差までとした (標高490 m~646 m)。なお, 2013年現在, 銚子口登山道は閉鎖されている。T4は銚子口登山道との交差から9合目立札まで (標高646 m~770 m), T5は9合目立札から馬ノ背の休憩場所の入り口までとした (標高770 m~900 m)。Uは馬ノ背の休憩場所周辺とした (標高900 m)。なお, 馬ノ背よりも高標高域への登山客の進入は駒ヶ岳火山防災会議協議会および駒ヶ岳自然休養林保護管理協議会により規制されているため, 調査範囲は馬ノ背までとした。

## 結果と考察

全体で計26種の外来草本種が確認され, 9種はキク科に, 6種はイネ科に, 3種はマメ科に属していた (Table 1)。生活型では多年草の種が, 原産地ではヨーロッパ原産の種が最も多く, それぞれ16種であった。また, 全26種中の15種は明治期 (1868年~1912年) に北海道へ侵入していた。確認された種の内, ハルガヤ (*Anthoxanthum odoratum* L.) とセイヨウタンポポ (*Taraxacum officinale* Webb) は全調査区間・調査地点に出現し, メマツヨイグサ (*Oenothera biennis* L.), ヒメスイバ (*Rumex acetosella* L.), シロツメクサ (*Trifolium repens* L.), ムラサキツメクサ (*Trifolium pratense* L.) も低標高域から高標高域にかけて広く分布していた。メマツヨイグサを除く5種は, 明治期に北海道へ侵入したヨーロッパあるいはユーラシア大陸原産の多年草である。メマツヨイグサは戦前 (1912年~1945年) に北海道へ侵入した二年草である。また, 上述の6種を含む24種において, 生殖器官を有した個体が観察された (Table 1)。この内, セイヨウタンポポの生殖器官は, 低標高域に位置するT1からPにおいては確認されたが, より高標高域にあるT3からUでは確認されなかった。

今回記録された外来草本の種数は, T1では22種, T2では16種, Pでは11種, T3では10種, T4では6種, T5では7種, Uでは2種であった。これらの種数の相違は, ハルガヤ, セイヨウタンポポ, メマツヨイグサ, ヒメスイバ, シロツメクサ, ムラサキツメクサが低標高域 (T1やT2) だけでなく高標高域 (UやT5) にも出現した一方で, その他の多くの種の分布が低標高域に偏っていたことに起因する。今回用いた調査区間および調査地点の面積は互いに異なるため本稿での検証はできないが, 外来草本種数は低標高域から高標高域にかけて少なくなるのかもしれない。

本調査で記録された外来草本種の一部は, 他の地域の登山道や散策路の周縁部においても観察されている。特に, ハルガヤ, セイヨウタンポポ, シロツメクサ, ヒメスイバ, ブタナ (*Hypochaeris radicata* L.), カモガヤ (*Dactylis glomerata* L.) は日本を含む世界各地の高地の登山道沿いで普遍的であり (Tachibana, 1968; 竹内・橘, 1999; Pickering and Hill, 2007), 在来植生内への侵入も知られている (Pickering and Hill, 2007)。渡島駒ヶ岳登山道沿

Table 1. Distribution patterns of non-native herbaceous plants along Akaigawa mountain trail on Mount Koma, Hokkaido, northern Japan. Closed and open circles indicate presence or absence of individuals having reproductive organs (i. e., flower, fruit or seed) within the site, respectively.

Nomenclature	Japanese name	Family	Life form	Origin	Introduction period	Site name										
						T 1	T 2	P	T 3	T 4	T 5	U				
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	ハルガヤ	Poaceae	P	Es	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Taraxacum officinale</i> Webb	セイヨウタンポポ	Compositae	P	Ep	1868–1912	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Oenothera biennis</i> L.	メマツヨイグサ	Onagraceae	B	NA	1912–1945	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○
<i>Rumex acetosella</i> L.	ヒメスイバ	Polygonaceae	P	Es	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Trifolium repens</i> L.	シロツメクサ	Leguminosae	P	Ep	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Trifolium pratense</i> L.	ムラサキツメクサ	Leguminosae	P	Ep	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Poa pratensis</i> L.	ナガハグサ	Poaceae	P	Ep?	1868–1912	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Agrostis gigantea</i> Roth	コスカグサ	Poaceae	P	TNH	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Eriogon annuus</i> (L.) Pers.	ヒメジヨオン	Compositae	A	Ep, NA	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Hypochaeris radicata</i> L.	ブタナ	Compositae	P	Ep	1912–1945	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Silene armeria</i> L.	ムシトリナデシコ	Caryophyllaceae	A, B	Ep	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	ブタクサ	Compositae	A	NA	1912–1945	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	ヒメムカシヨモギ	Compositae	A	NA	1868–1912	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	ヒロハノウシノケグサ	Poaceae	P	Ep	1945–	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Panicum acuminatum</i> Sw.	ニコゲスカキビ	Poaceae	A	NA	1945–	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Plantago lanceolata</i> L.	ヘラオオバコ	Plantaginaceae	P	Ep	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Rudbeckia hirta</i> L.	アラゲハンゴンソウ	Compositae	P	NA	1912–1945	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	オランダミミナグサ	Caryophyllaceae	B	Ep	1945–	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	アメリカオニアザミ	Compositae	B	Ep	1945–	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Dactylis glomerata</i> L.	カモガヤ	Poaceae	P	Ep-WA	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Hieracium aurantiacum</i> L.	コウリントンポポ	Compositae	P	Ep	1912–1945	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Leucanthemum vulgare</i> (Vaill.) Lam.	フランスギク	Compositae	P	Ep	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Linaria vulgaris</i> Mill.	ホンバウランラン	Plantaginaceae	P	Es	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	エゾノギシギシ	Polygonaceae	P	Es	1868–1912	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Trifolium campestre</i> Schreb.	クスダマツメクサ	Leguminosae	A	Ep	1945–	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Verbascum thapsus</i> L.	ビロートモウズイカ	Scrophulariaceae	B	Ep	1912–1945	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

26

Total number of species

22

16

11

10

6

7

2

Life form, A : annual herb, B : biennial herb, and P : perennial herb. Origin, Ep : Europe, Es : Eurasia, NA : North America, TNH : Temperate Northern Hemisphere, and WA : West Asia. Introduction period, 1868–1912 : Meiji period, 1912–1945 : until the end of World War II, and 1945– : post WW II.

いでは、ハルガヤ、セイヨウタンポポ、シロツメクサ、ヒメスイバは特に高い出現頻度を示し、また生殖器官を形成していた (Table 1)。現時点では、これら4種の外来草本は渡島駒ヶ岳斜面の在来植生でほとんど観察されないが (Uesaka and Tsuyuzaki, 2004)、今後、定着個体からの種子供給によって在来植生へ侵入し、拡散する可能性がある。その他にも、メマツヨイグサ、ムラサキツメクサ、ナガハグサ (*Poa pratensis* L.)、ヒメジョオン (*Erigeron annuus* (L.) Pers.)、エゾノギシギシ (*Rumex obtusifolius* L.)、オランダミミナグサ (*Cerastium glomeratum* Thuill.) の定着が国内の登山道・散策路沿いにおいてしばしば報告されている (Tachibana, 1968; 竹内・橋, 1999; 尾関・井田, 2001; 中山ら, 2006; 渡邊ら, 2012)。これらの種についても、生殖器官を形成した個体が今回の調査で確認されており (Table 1)、将来的に分布を拡げる可能性がある。渡島駒ヶ岳の植物および景観の保全のため、これらの外来草本種の分布と動態を注視する必要がある。

### 謝辞

本研究において、森町役場防災交通課および渡島森林管理署には、入山に際して様々な便宜をはかっていただいた。また、調査の際には露崎史朗氏および吉田智明氏からご協力をいただき、執筆の際には赤坂宗光氏、浦田悦子氏、および査読者の方からご助言をいただいた。この場をお借りして、厚く御礼申し上げます。

### 引用文献

Akasaka, M. and Tsuyuzaki, S. (2009): Comparisons of recruitment, survival, and growth in invasive and native saplings on a volcano. *Plant Ecology*, 202: 235–245.

五十嵐博 (2001): 北海道帰化植物便覧—2000年版一。北海道野生植物研究所, 札幌。

Johnston, F. M. and Pickering, C. M. (2001): Alien plants in the Australian Alps. *Mountain Research and Development*, 21: 284–291.

気象庁 (2013): 気象統計情報。URL: <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html> (2013年9月21日確認)。

宮脇昭・奥田重俊・藤原陸夫 (1994): 改訂新版日

本植生便覧。至文堂, 東京。

中山祐一郎・野上達也・柳生敦志 (2006): 白山高山帯・亜高山帯における低地性植物の分布について (5) 南竜ヶ馬場および室堂における雑草性植物の侵入状況。石川県白山自然保護センター研究報告, 33: 15–23.

西秀雄・露崎史朗 (2002): 北海道渡島駒ヶ岳における鳥類の種組成および分布。環境教育研究, 5: 121–127.

尾関雅章・井田英行 (2001): 亜高山帯・高山帯を通過する車道周辺の植物相および植物生態に関する研究。長野県自然保護研究所紀要, 4: 27–39.

Pickering, C. and Hill, W. (2007): Roadside weeds of the Snowy Mountains, Australia. *Mountain Research and Development*, 27: 359–367.

Tachibana, H. (1968): Weed invasion upon the mountain areas in Mt. Hakkoda. *Ecological Review*, 17: 95–101.

竹内健・橋ヒサ子 (1999): 大雪山旭岳に侵入した低地植物の種子発芽特性。北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告, 33: 19–32.

The Plant List (2010): Version 1. URL: <http://www.theplantlist.org/> (2013年9月21日確認)。

Titus, J. H. and Tsuyuzaki, S. (2003): Influence of a non-native invasive tree on primary succession at Mt. Koma, Hokkaido, Japan. *Plant Ecology*, 169: 307–315.

Tsuyuzaki, S. and Hase, A. (2005): Plant community dynamics on the volcano Mount Koma, northern Japan, after the 1996 eruption. *Folia Geobotanica*, 40: 319–330.

露崎史朗・長谷昭・新沼寛子・花田安司 (2001): 北海道渡島駒ヶ岳における2000年種子植物リスト。生物教材, 36: 1–6.

Uesaka, S. and Tsuyuzaki, S. (2004): Differential establishment and survival of species in deciduous and evergreen shrub patches and on bare ground, Mt. Koma, Hokkaido, Japan. *Plant Ecology*, 175: 165–177.

渡邊修・松尾野里子・野溝美憲・根橋信水・松本壮平・村上靖典 (2012): GPS簡易調査による上高地地域の外来植物の分布と解析。信州大学農学部紀要, 49: 19–27.



## 投稿規程

「フィールドサイエンス」(英文名: Journal of Field Science) は、東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センターの年報誌で、原則として年1回発行される。

本誌には、広くフィールドサイエンスに関する研究成果などを掲載する。

### 1. 目的

フィールドサイエンスに関する研究成果などを公表し、その発展に寄与する。

### 2. 投稿者

東京農工大学に所属する者およびフィールドサイエンスに関心をもつ者。

### 3. 原稿の種類と内容

- (1) 論文: 研究報告で他誌に未発表のもの。
- (2) 資料: 測定・観察記録などで、他誌に同一形態・形式で発表したものを除く。
- (3) 総説・解説: フィールドサイエンスに関するレビュー、実験・調査方法の解説など。
- (4) その他: 編集委員長の依頼にもとづく記事など。

### 4. 原稿の使用言語と長さ

- (1) 原稿に使用する言語は日本語または英語とする。
- (2) 原稿は、別に定める執筆要領に従って作成し、刷り上がり20ページ以内とする。

### 5. 投稿手続き

原稿は、編集ができない状態にした電子媒体に次の項目を記した送り状を添えて、編集幹事に提出する。

- (1) 著者・所属機関・所在地・連絡担当著者と連絡先
- (2) 表題
- (3) 原稿枚数(図、表および写真を含む)
- (4) 原稿の種類
- (5) 別刷希望部数

### 6. 原稿の採否

- (1) 原稿の採否は編集委員長が決定する。

(2) 編集委員長は、原稿の採否に関して、編集委員ほか、しかるべき査読者から意見を求めることがある。

(3) 編集委員長は、必要に応じて著者に原稿の修正を求めることがある。

### 7. その他

- (1) 英語原稿は、あらかじめ英文校閲を行うこととする。
- (2) 著者は、原稿の採用決定後、最終原稿の編集ができない状態にした電子媒体と編集可能な電子媒体を編集幹事に提出する。
- (3) 別刷は、50部を無料とし、希望部数の50部を超える部分は著者の実費負担とする。

## 執筆要領

### 1. 論文

(1) 日本語原稿: 1) ~ 3) を1ページ, 4) を2ページ, 5) を3ページ以降とし, 6) は5) と区分する。なお, 7) は後述のとおり1枚ずつ別葉とする。

- 1) 表題
- 2) 著者(ふりがな)・所属機関・所在地・連絡担当著者と連絡先
- 3) ランニングタイトル(日本語)
- 4) 要旨・キーワード(日本語)
- 5) 本文(はじめに, 材料と方法, 結果, 考察などに原則として区分する)
- 6) 引用文献
- 7) 図, 表および写真

(2) 英語原稿: 1) ~ 3) を1ページ, 4) を2ページ, 5) を3ページ以降とし, 6) は5) と区分する。なお, 7) は後述のとおり1枚ずつ別葉とする。

- 1) 表題
- 2) 著者・所属機関・所在地・連絡担当著者と連絡先
- 3) ランニングタイトル(英語)
- 4) 要旨・キーワード(英語)
- 5) 本文(Introduction, Materials and Methods, Results, Discussionなどに原則として区分する)
- 6) 引用文献
- 7) 図, 表および写真

## 2. 資料、総説・解説およびその他

本文の区分などについては、必ずしも論文の形式に準じなくてもよい。

## 3. 用語等

- (1) 日本語原稿は、横書きとし、編集可能な電子媒体で1ページあたりおおむね40字×25行で作成する。
- (2) 英語原稿は、編集可能な電子媒体で1ページあたりおおむねアルファベット60字×25行で作成する。
- (3) 動物・植物等の日本名、外来語および原語によらない外国の地名・人名はカタカナとする。学名は国際表記にしたがうこととする。
- (4) 用語は、原則として文部省（文部科学省）編「学術用語集」に使われているものを用いる。
- (5) 単位は国際単位系（SI）を用いることが望ましい。

## 4. 要旨・キーワード

- (1) 日本語要旨はおおむね500字以内に、英語要旨はおおむね300語以内にまとめる。
- (2) キーワードは日本語、英語とも5個以内とする。

## 5. 引用文献

- (1) 引用文献は著者名のアルファベット順に記載し、本文の該当箇所に（著者、年号）または著者（年号）のように明示する。
- (2) 雑誌の場合は、著者（年号）：表題. 雑誌名, 巻または号（通巻ページでないものは巻号）：引用ページとする。
- (3) 単行本の場合は、著者（年号）：引用箇所表題. 書名, 編者名（編）, 引用ページ, 発行所, 所在地とする。

## 引用文献の書き方（例）

文献は本文中に引用されたものすべてを記載する。雑誌名は原則として、省略しないで表記する。

### (a) 雑誌

田中阿歌磨・星野隆一（1933）：択捉島湖沼踏査概況及其の湖沼形態，水の理化学的所見．陸水学雑誌，3：1-19.

Birge, E. A. and Juday, C. (1934): Particulate and dissolved organic matter in inland lakes. Ecological Monograph, 4: 440-474.

### (b) 単行本

小林繁男（1993）：熱帯林土壌のせき悪化．熱帯林土壌，真下育久（編），280-333, 勝美堂，東京.

Syrett, P. J. (1962): Nitrogen assimilation. Physiology and Biochemistry of Algae, Lewin, R. A. (ed.), 171-188, Academic Press, New York.

## 6. 図、表および写真

### (1) 図（写真は図として取り扱う）

- 1) 図（写真）の題名および注は図（写真）の下に書く。
- 2) 図（写真）は1枚ごとに別葉とし、図（写真）番号の表示は、図1. または Fig. 1. のようにする。本文中で図（写真）番号を示すときも同様とする。

### (2) 表

- 1) 表の題名は表の上に、注は表の下にそれぞれ記載する。
- 2) 表は1枚ごとに別葉とし、表番号の表示は、表1. または Table 1. のようにする。本文中で表番号を示すときも同様とする。

## 附 則

この規程は、平成25年4月1日から施行する。

## フィールドサイエンス編集委員会

編集委員長	横山 正	東京農工大学農学部 FS センター長, 教授
編集委員	松田 和秀	FS センター准教授
	渡辺 直明	FS センター助教
	鈴木 馨	FS センター准教授 (編集幹事, kaoru@cc.tuat.ac.jp)
	島田 順	FS センター教授
	松村 昭治	FS センター准教授
	金勝 一樹	生物生産学科准教授
	川合 伸也	応用生物科学科准教授
	伊豆田 猛	環境資源科学科教授
	白木 克繁	地域生態システム学科准教授
藤川 浩	共同獣医学科教授	
事務局	五十嵐 明	府中地区事務部事務長補佐 (FS 担当)

## Editorial Committee of Journal of Field Science

### Editor-in-Chief

Tadashi YOKOYAMA Director of Field Science Center, Professor of Tokyo University of Agriculture and Technology

### Editorial Board

Kazuhide MATSUDA	Associate Professor of Field Science Center
Naoaki WATANABE	Assistant Professor of Field Science Center
Kaoru SUZUKI	Associate Professor of Field Science Center (Managing Editor, kaoru@cc.tuat.ac.jp)
Jun SHIMADA	Professor of Field Science Center
Shoji MATSUMURA	Associate Professor of Field Science Center
Motoki KANEKATSU	Associate Professor, Dept. of Biological Production
Shinya KAWAI	Associate Professor, Dept. of Applied Biological Science
Takeshi IZUTA	Professor, Dept. of Environmental and Natural Resource Sciences
Katsushige SIRAKI	Associate Professor, Dept. of Ecoregion Science
Hiroshi FUJIKAWA	Professor, Cooperative Dept. of Veterinary Medicine

### Management Office

Akira IGARASHI Chief of Field Science Center Office

---

平成26年 2月28日 印刷  
平成26年 3月 4日 発行

発行所 東京農工大学農学部附属 FS センター  
〒183-8509 府中市幸町 3-5-8 ☎042-367-5798  
印刷所 電算印刷株式会社  
〒390-0821 松本市筑摩 1-11-30 ☎0263-25-4329

---



# Journal of Field Science

---

No. 12

Mar, 2014

---

## 目 次

### 論 文

- 1 デグー (*Octodon degus*) の幼齢個体の成長に伴う身体変化と人への「親和性」の関係／染川太志・足立良介・鈴木 馨
  
- 7 ゴールデンハムスター (*Mesocricetus auratus*) における唾液  $\alpha$ -アミラーゼのストレスマーカーとしての利用可能性／津村 遼・鈴木 馨
  
- 11 高齢級スギ・ヒノキ人工林小流域における部分伐採が流出特性に与える影響／山崎恭平・白木克繁
  
- 17 ポリリン酸のリン酸肥料としての評価／松村昭治・大石真子・清水 正・岡崎正規

### 資 料

- 23 北海道渡島駒ヶ岳の登山道沿いにおける外来草本の分布状況／斎藤達也

---

FIELD SCIENCE CENTER, TOKYO UNIVERSITY OF  
AGRICULTURE AND TECHNOLOGY  
Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan