

## 島のアカネズミ *Apodemus speciosus* に寄生する 線虫の分布情報に関する GIS 的解析

鈴木 透<sup>1)</sup>・坂田 金正<sup>2)</sup>・金子 正美<sup>1)</sup>・浅川 満彦<sup>3)</sup>\*

GIS-based analysis of geographical distribution of parasitic nematodes  
from Japanese field mice, *Apodemus speciosus*, on off-shore islands of Japan

Tohru SUZUKI<sup>1)</sup>, Kinsho SAKATA<sup>2)</sup>, Masami KANEKO<sup>1)</sup> and Mitsuhiro ASAKAWA<sup>3)</sup> \*  
(Accepted 5 July 2019)

### はじめに

坂田 (2007) は島のアカネズミ *Apodemus speciosus* に寄生する線虫相とその生物地理学的特色が論じられた学位申請主論文である。その中で線虫種存否を各島の地理・地史・気候等をパラメータとして GIS 分析した結果だけの概要が紹介されていた。しかし、その結果に至った詳細な情報をその主論文に盛り込むことが間に合わず、やむなく割愛をしたため、不適切な状態となっていた。そこで、今回、当該結果に至った根拠を詳述することにした。すなわち、本稿は坂田 (2007) の補遺として位置付けられるもので、特に、GIS 分析を直接担当した鈴木が筆頭著者として、若干の変更を加えつつ公表をすることにした。

### 材料と方法

材料となる基本情報は、坂田 (2007) が対象とした島 (利尻島、奥尻島、佐渡島、能登島、淡路島、知夫里島、隠岐・西ノ島、隠岐・中ノ島、島後、壱岐、福江島、上対馬、下対馬、伊豆大島、新島、式根島、神津島、三宅島、下甕島、種子島、屋久島、口永良部島、口之島およびトカラ列島中之島; 図 1) における線虫種 [*Heligmosomoides kurilensis*, *Heligmonoides speciosus*, *Mammanidula hokkaidensis*, *Rhabditis (Pelodera) orbitalis* (第 3 期幼虫), *Syphacia agraria*, *S. frederici*, *S. emileromani*, *Heterakis spumosa*, *Subulura (Murisubulura) suzu-*

*kii*, *Rictularia cristata*, *Physloptera* sp., *Mastophorus muris*, *Gongylonema (Gongylonema) neoplasticum*, *Onchocercidae* gen. sp., *Eucoleus* sp. および *Trichuris* sp.] の存否で、表 1 (1 : 確認, 0 : 未確

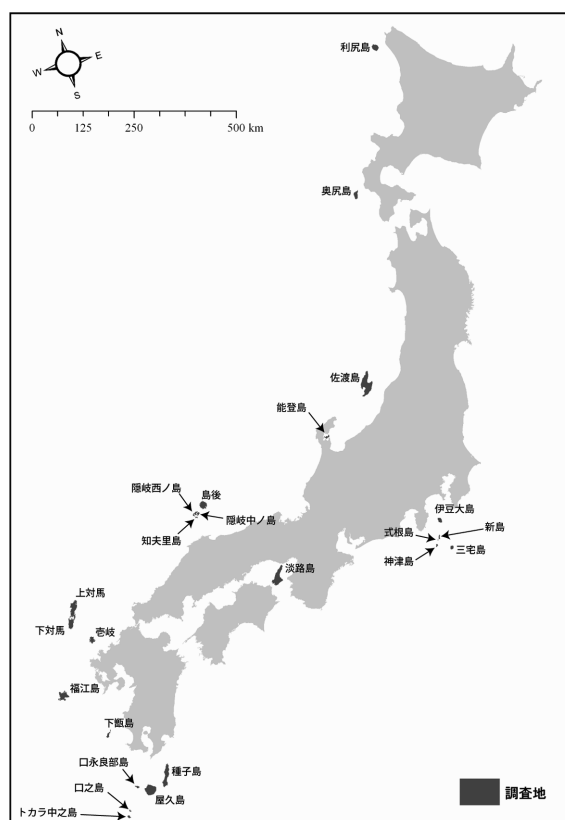


図 1 本論文で対象とされた島

\* 連絡著者

Corresponding author

<sup>1)</sup> 酪農学園大学農食環境学群

College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University

<sup>2)</sup> 佐渡トキ保護会 〒952-0101 新潟県佐渡市

Sado Toki Protection Society, Sado, Niigata 952-0101, Japan

<sup>3)</sup> 酪農学園大学獣医学群

School of Veterinary Medicine, Rakuno Gakuen University

表1 鳥のアカネズミ *Apodemus speciosus* で認められた寄生線虫類

線虫/鳥	利尻島	奥尻島	佐渡島	能登島	島後	隠岐 西ノ島	隠岐 中ノ島	知夫 里島	伊豆 大島	上対馬	淡路島	新島	式根島	神津島	下対馬	三宅島	志岐	福江島	下飯島	種子島	口永良 部島	屋久島	口之島	トカラ 中之島
<i>Heligmosomoides kurlensis</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Heligmonoides speciosus</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Mammanidula hokkaidensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhabditis (Pelodera) orbitalis</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
<i>Syphacia agrarian</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Syphacia frederici</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Syphacia emileromani</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Heterakis spumosa</i>	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
<i>Subulura (Murisubulura) suzukii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1
<i>Rictularia cristata</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
<i>Physloptera</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mastophorus muris</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
<i>Gongylonema</i> (G.) <i>neoplasticum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Onchocercidae</i> gen. sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Eucoleus</i> sp.	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trichuris</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

註：表中の数字1は当該の鳥で確認された線虫種であったこと、一方、0は未確認の種であったことを示す。坂田（2007）のデータを改変して転載

表2 日本列島周辺の海峡形成史に基づく各島が本島から隔離された期間のカテゴリー（坂田, 2007 改変）

- ①の島： 20 万年前以前の中期更新世あるいはそれ以前、佐渡海峡および奥尻海峡が形成され、北海道－本州陸塊（現在の本州、四国および九州が地続きになった地域）の連なった陸地と佐渡島、前記の陸地と奥尻島とが分断。伊豆諸島はこの時期と想像されるが不明。
- ②の島： 約 13 万～10 万年前に朝鮮海峡、津軽海峡、大隅海峡および対馬海峡が形成、ユーラシア大陸東岸と本州陸塊、本州陸塊－北海道、本州陸塊－種子島・屋久島の陸塊、本州陸塊と南北対馬とが分断。
- ③の島： 最終氷期終了あたりの約 1 万 6000 年前、隠岐海峡が形成、本州陸塊と隠岐諸島の陸塊が分断。
- ④の島： 約 1 万 2000 年から 1 万年前、鳴門海峡、壱岐水道および種子島海峡が形成され、礼文島、天売島、焼尻島および大黒島の各離島群、本州陸塊と淡路島、本州陸塊と壱岐、種子島と屋久島が分断。完新世の始まった約 8500～5000 年前、五島灘、備讃瀬戸および関門海峡が形成。
- ⑤の島： 本州陸塊が五島列島、本州、四国および九州の各本島が分断。利尻島、国後島および能登島もほぼ同時期に分断。

表3 *Heligmosomoides kurilensis* の GLM 値

	Estimate	Std.	Z	P
Constant	-1.792	1.08	-1.659	0.0971
RankR2	-17.774	4064.635	-0.004	0.9965
RankR3	2.639	1.282	2.059	0.0395

認）に示した。

分析方法として、GIS 分析に用いた各島の面積と直近本島（北海道、本州、四国および九州）からの距離は国土地理院発行の数値地図 25,000（行政界・海岸線）の値（<http://www.jmc.or.jp/data/2,500spa.html>）を用いた。緯度・経度は島の中心点の座標値を用いた。年平均気温は（財）気象業務支援センターのメッシュ気候値 2,000（<http://siztenki.sakura.ne.jp/whats/notice.html>）を用い平均値を算出した。伊豆諸島を除く各島の隔離期間は島成立時期を日本列島周辺の海峡形成史から類推し表 2 のようにした（以上、坂田, 2007）。

以上の要因と線虫種存否のとの関連性について GIS ソフトである ArcGIS9.1（ESRI 社）を用い分析した。分布島数が 2 島未満、もしくは 21 島以上を除く島の線虫種では、以上の要因を変数として用いた多変量解析を行い分析した。多変量解析には各要因について単変量の GLM（Generalized Linear Model: link = logit, error distribution = binomial distribution）を行い、 $P < 0.1$  以下の傾向が見られる要因を選択した後、多変量の GLM を行った。変数の選択には、AIC（Akaike Information Criteria）を用いた。また、モデル正答率は sensitivity（“いる”という予測に成功した割合）と specificity（“いない”という予測に成功した割合）の平均値を正答率として用いた。統計処理にはすべて R（R Development Core Team, 2005）を用いた。

## 結果と考察

それぞれの線虫ごとに分析結果を列挙する。

*Heligmosomoides kurilensis*： 8 つの島で確認されており（表 1）、地理的に明確な分布要因が不明であったので多変量解析を行った。その結果、隔離期間が要因として残り、隔離期間が 1 万年以下の島（表 2 ④および⑤）で分布する確率が高い傾向が示され（表 3）、そのモデル正答率は 0.84 であった。

*Heligmonoides speciosus*： 北海道の 2 島以外の 22 島で確認されたので（表 1）、北海道では分布が制限されているように見えるが、北海道本島と国後島ではその分布が確認されている。よって、別要因からの解析が今後の課題とされた。

*Mammanidula hokkaidensis*： 利尻島のみで確認され（表 1）、島における分布制限要因が示唆されるが、北海道本島とユーラシア大陸（極東部）では分布しているので、別要因からの解析が今後の課題とされた。

*Rhabditis orbitalis*： 13 島で確認され（表 1）、地理的要因の特殊性は見出されなかった。そこで多変量解析を実施した。その結果、隔離期間が分布規定の要因として残り、1 万年以下で分布確率が高い傾向が示された（表 4）。また、モデルの正答率は 0.65 と比較的高かったが、specificity は 0.45 と比較的低値を示した。以上から、本種は本島から隔離された期間が 1 万年以下の島に分布することが多い

表4 *Rhabditis orbitalis* の GLM 値

	Estimate	Std.	Z	P
Constant	-0.9163	0.8367	-1.095	0.273
RankR2	1.204	1.1328	1.063	0.288
RankR3	1.7636	1.0845	1.626	0.104

表5 *Heterakis spumosa* の GLM 値

	Estimate	Std.	Z	P
Constant	1.792	1.08	1.659	0.0971
RankR2	-2.708	1.366	-1.982	0.0475
RankR3	-2.639	1.282	-2.059	0.0395

表6 GLM の結果

	Estimate	Std.	Z	P
Constant	22.1824	9.6255	2.305	0.0212
LAT	-0.6995	0.2943	-2.377	0.0175

が(表2④および⑤など), それ以外の島にも分布もしており, 確定的な要因は今回の検討課題とされた。

*Syphacia frederici*: 14 島で確認されており(表1), 地理的に要因の特殊性は見出されなかった。そこで各要因を用い多変量解析を行った。その結果, 有意な式は得られなかった。

*S. emileromani*: 8 島で確認されており(表1), 地理的に要因の特殊性は見出されなかった。そこで各要因を用い多変量解析を行った結果, 有意な式は得られなかった。

*Heterakis spumosa*: 11 島で確認され(表1), 地理的に要因の特殊性は見出されなかった。そこで各要因を用い多変量解析を行った結果, 隔離期間のみが要因として残り, 20 万年前に分化した島に生息している確率が高いという傾向が示された(表5)。また, モデルの正答率は0.75と高かったが, sensitivity は0.54と中程度の値を示した。以上から, 本種はこれにより, 日本列島の本島から離断した年代が20 万年前の島に分布したが(表2の②), 例外もあり, 別要因についても検討する必要性が示された。

*Subulura suzukii*: 6 島で確認され(表1), 多変量解析を行った結果, 緯度が特殊性として残り, 緯度値が小さいほど確率が高い傾向を示した(表6)。また, モデルの正答率は0.78と高い値を示した。

*Rictularia cristata*: 19 島で確認されており(表

1), 地理的な特殊性は認められなかった。そこで各要因を用い多変量解析を行ったが, 有意な式は得られなかった。

*Physaloptera* sp.: 2 島のみで確認され(表1), 島における分布が制限されていることが示唆された。一見, 面積が小さい島で分布する傾向が見られるが, その他の面積が小さい島では確認されていないため, 別要因が影響している可能性もあると考えられた。

*Mastophorus muris*: 6 島で確認されており(表1), 明確な分布域の特殊性は見出されなかった。そこで各要因を用いて多変量解析を行った。その結果, 有意な式は得られなかったため, 分布を規定している要因は明らかにならなかった。

*Gongylonema neoplasticum*: 2 島のみで確認され(表1), 島では分布に何らかの制限要因が存在することが示唆された。

*Onchocercidae* gen. sp.: 2 島のみで確認され(表1), 島では分布に何らかの制限要因が存在することが示唆された。特に, 南方の気温が高い島に分布する傾向が示された。

*Eucoleus* sp.: 7 島で確認されており(表1), 明確な分布域の特殊性は認められなかった。そこで各要因を用いて多変量解析を行った。その結果, 本島からの距離が近いほど確率が高い傾向を示した(表

表 7 *Eucolus* sp. の GLM 値

	Estimate	Std.	Z	P
Constant	1.0744	1.01881	1.055	0.292
DIS	-0.0454	0.02395	-1.896	0.058

7)。また、モデルの正答率は、0.73 と高値を示したが、sensitivity は 0.54 と中程度の値を示した。*Eucolus* sp. は本島から遠い島では分布することは少ないが、近い島であっても生息していないこともあり、その分布要因は今後の課題となった。

*Trichuris* sp.：式根島のみで生息が確認されており、島では地理的に分布が制限されていることが示唆された。

以上から、線虫 5 種 (*M. hokkaidensis*, *P. sp.*, *G. neoplasticum*, *Oncosercidae gen. sp.* および *T. sp.*) に関しては 2 つ以下の島にしか分布せず、島における分布は何らかの制限因子が示唆された。確認された島が少ないため、多変量解析を実施出来なかったが、たとえば *Onchocercidae gen. sp.* は南方の気温が高い島嶼に生息する傾向が認められた。また、*H. speciosus* と *R. cristata* はそれぞれ 22 および 19 の島に分布し、明瞭な分布制限要因は認められなかった。*S. frederici*, *S. emileromani* および *M. muris* では多変量解析で有意な式が得られなかった。しかし、残り 5 種では有意な式が得られ、*H. kurilensis*, *R. orbitalis* および *H. spumosa* は本島から隔離された期間が影響を与えていたことが示唆された。また、*S. suzukii* は緯度、*Eucolus* sp. は本島からの距離がそれぞれ影響していたことが示された。

以上のように、*H. speciosus* と *R. cristata* を除く 13 種が島における分布が限られ、うち 5 種が本島か

らの隔離期間、島の緯度、本島からの距離が分布制限要因と考えられた。他の線虫種は宿主アカネズミの生息環境に関する要因の算出方法の改善や宿主個体群変動や密度・生息数などの要因を追加して、再解析することも今後の課題であろう。

## 引用文献

- R Development Core Team. 2005. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- 坂田金正. 2007. 日本列島離島部に棲息するアカネズミ属 *Apodemus* と線虫類の宿主-寄生体関係をモデルにした動物地理学的研究, 酪農学園大学大学院獣医学研究科博士 (獣医学) 学位申請論文, 北海道: 64pp.

## 要 旨

坂田金正が 2007 年に酪農学園大学大学院獣医学研究科に提出した島のアカネズミ *Apodemus speciosus* に寄生する線虫相とその生物地理学的特色を論じた学位申請主論文にあった情報を用い、線虫相と各島の地理・地史・気候等をパラメータとして GIS 分析した。その結果、線虫 5 種の分布では本島から距離や隔離された地史的期間、あるいは所在する緯度が影響を与えていたことが示唆された。

## Summary

Assorcing to the data set derived from the PhD thesis from Kinsei Sakata subumitted to the Graduate School of Veterinary Medicine, Rakuno Gakuen University in 2007, the GIS-based analysis of geographical distribution of 16 parasitic nematodes from Japnaese field mice, *Apodemus speciosus*, on 24 off-shore islands, Japan, were performed. Among the nematodes, the insular distribution of 5 species are intimately related to isolated period and distance from the mainlands, and to located latitude of each island.

