〔Med. Entomol. Zool.　Vol. 72　No. 1　p. 1–8　2021〕
DOI: 10.7601/mez.72.1

衛生動物学会 Mini Review集

「シリーズ：人獣共通感染症の最先端とワンヘルスアプローチ」
The forefront of zoonosis and One Health approach

トキソプラズマ症—身近な人獣共通感染症の伝播サイクルとワンヘルスに基づいた対策の道筋

三條場千寿*[1)]　亘　悠 哉[2)]　松 本 芳 嗣[1)]　宮 下　直[3)]

[1)] 東京大学大学院農学生命科学研究科・応用免疫学研究室（〒113–8657 東京都文京区弥生1–1–1）
[2)] 国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・野生動物研究領域
（〒305–8687 茨城県つくば市松の里1）
[3)] 東京大学大学院農学生命科学研究科・生物多様性科学研究室（〒113–8657 東京都文京区弥生1–1–1）

（受領：2020年12月28日；登載決定：2021年1月20日）

One Health approach in the control of zoonosis with special attention on Toxoplasmosis

Chizu Sanjoba*[1)], Yuya Watari[2)], Yoshitsugu Matsumoto[1)] and Tadashi Miyashita[3)]

* Corresponding author: asanjoba@g.ecc.u-tokyo.ac.jp
[1)] *Laboratory of Molecular Immunology, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1–1–1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113–8657, Japan*
[2)] *Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305–8687, Japan*
[3)] *Laboratory of Biodiversity Science, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1–1–1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113–8657, Japan*

(Received: 28 December 2020; Accepted: 20 January 2021)

Abstract: Toxoplasmosis is a zoonosis caused by *Toxoplasma gondii*, which infects almost all mammals and birds. Felids are definitive hosts that shed oocysts of *T. gondii* with their feces, which is then transmitted by oral ingestion. The study analyzed the prevalence of *T. gondii* infection in free-ranging cats on Tokunoshima Island, Kagoshima Prefecture from 2017 to 2018, and found a seropositivity rate of 47.2% (59/125). This result indicated the importance of understanding and managing the behavioral patterns of felids, including the free-ranging cats. Toxoplasmosis is also an important food-borne parasitic disease due to its ability to be transmitted by consuming undercooked meat of infected animals. Considering that all developmental stages of *T. gondii*, including oocyst, tachyzoite, and cysts, are capable of infection, a One Health approach that considers the health maintenance of humans, animals, and the environment is important for the control of toxoplasmosis.

Key words: free-ranging cats, One Health approach, toxoplasmosis, zoonosis

1. はじめに

トキソプラズマ症は，アピコンプレックス門に属するトキソプラズマ原虫 *Toxoplasma gondii* Nicolle and Manceauxによって引き起こされる人獣共通感染症である．1908年にげっ歯類より発見されてから（Nicolle and Manceaux, 1908），トキソプラズマ原虫の生活環については長らく不明のままであった．1939年Wolfらは，生後3日目より痙攣発作，呼吸障害を起こし31日目に脳脊髄炎により死亡した新生児より分離されたトキソプラズマ原虫を，マウスおよびウサギに脳内接種により感染させ，トキソプラズマ症が人獣共通感染症であることを初めて実験的に示した（Wolf et al., 1939）．1957年には，ヒツジにおける流産の原因が本症に起因することが報告され（Hartley and Marshall, 1957），医学上のみならず，獣医学上，重要な感染症として認識された．今日では，ほぼ全ての哺乳類，鳥類に感染能を有することが明らかとなり，世界で広く蔓延している．感染症の理解において，微生物（ウイルスを含む）の宿主への「感染」という生物学的事象と，感染によって引き起こされる宿主の健康障害である「感染症」という医学的事象を明確に区別することが重要である．多くの微生物において「感染」が必ずしも「感染症」を引き起こすわけではない．多くの寄生微生物にとって，宿主の死は自らの死を招くため，自然選択のプロセスを経て宿主との共存へと向かうと考えられる．トキソプラズマ原虫は，医学，獣

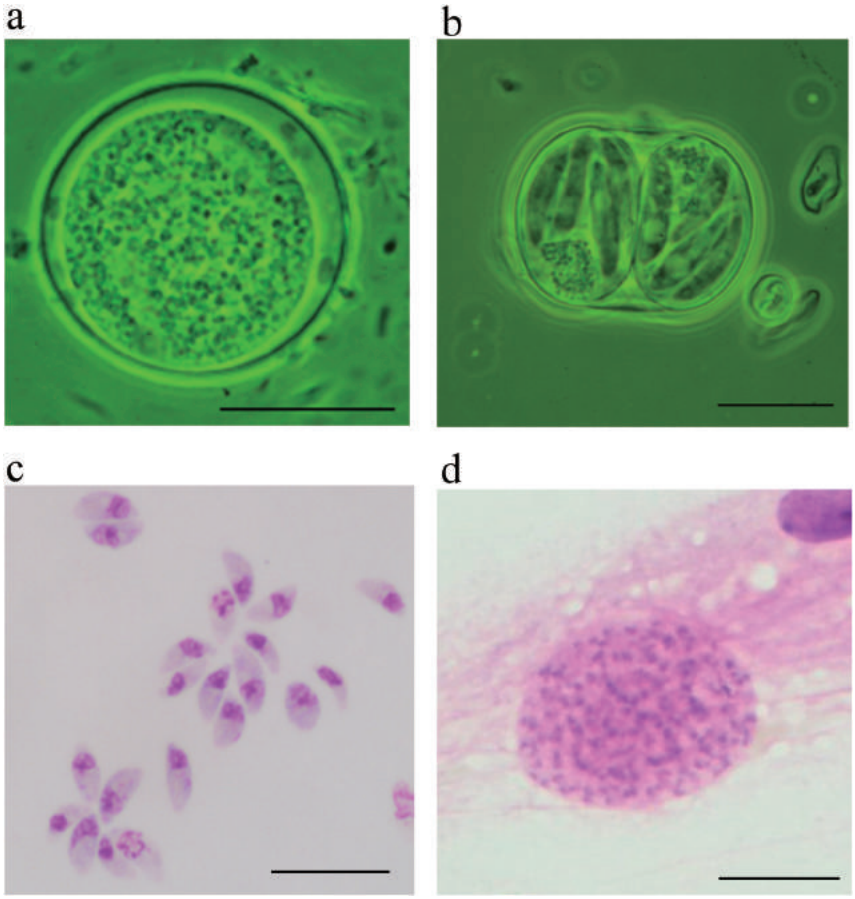

Fig. 1. Developmental stage of *Toxoplasma gondii*. a, electron micrograph of immature oocyst. b, electron micrograph of sporulated oocysts. c, Giemsa-stained tachyzoites. d. Giemsa-stained cyst. Scale bar: 5 µm for a and b, 10 µm for c, and 20 µm for d.

医学的には宿主に重篤な症状を引き起こし，時として死をもたらす恐ろしい病原微生物とされているが，自然界ではヒトを含めた様々な生物と関係をもちながら共存していると理解するのが適切であろう．本稿では，トキソプラズマ原虫の生活環を説明するとともに，トキソプラズマ症のコントロールにはヒト，動物，環境の健康維持を視野に入れたワンヘルスアプローチ（One Health approach）が重要であることを述べたい．

2. トキソプラズマ原虫の生活環

トキソプラズマ原虫の終宿主はネコ科動物である．1970年，トキソプラズマ原虫感染マウスをネコに摂食させたところ，その糞便中にトキソプラズマ原虫の発育ステージのひとつであるオーシストを見出したことから（Dubey et al., 1970a, b; Frenkel et al., 1970），トキソプラズマ原虫の生活環に関する研究は加速する．トキソプラズマ原虫がネコ科動物に初めて感染すると，その腸管上皮内で有性生殖を行い，おおよそ1週間から2週間の間，未成熟オーシストを糞便中に排出する（Fig. 1a）．未成熟オーシストは外界で発育すると（気温約20°Cの場合，3〜4日），4個のスポロゾイトをそれぞれ持つ2個のスポロシストが形成され，感染力を持つ成熟オーシストになる（Fig. 1b）．成熟オーシストが中間宿主に経口感染すると無性生殖により増殖する．ほとんど全ての温血動物が中間宿主となり得る．中間宿主に取り込まれた成熟オーシストは，小腸上部でオーシスト内のスポロゾイトが遊離し，腸管粘膜に侵入，タキゾイトとなり増殖する（Fig. 1c）．タキゾイトは血流を介して全身に広がり，宿主に抗体が生じると，免疫反応が作用しにくい脳や筋肉組織でシスト（嚢子）を形成し（Fig. 1d）慢性感染状態となる．シストを経口摂取した動物にも感染が起こる．さらに，タキゾイトの胎盤感染が成立することもある．そして感染動物を経口摂取，あるいはオーシストにより汚染された土壌や水を摂取したネコが初感染すると伝播サイクルが完結する．以上のように，トキソプラズマ原虫の3つの発育形態，オーシスト，タキゾイト，シストが他の生物に対する感染能を持つことから，感染ルートは1）終宿主から終宿主へ，2）終宿主から中間宿主へ，3）中間宿主から中間宿主へ，4）中間宿主から終宿主へ，5）胎盤感染の5つのルートがあり複雑である．

3. ヒトへの感染経路

健康なヒトがトキソプラズマ原虫に感染した場合，おおよそ95%は不顕性感染となり症状が出ないことが多く，症状が出た場合でも通常は軽度で，インフルエンザのような感冒様症状が数週間から数ヵ月続くに留まるとされている（World Health Organization, 2015）．しかしながら，後天性免疫不全症や抗がん剤投与等により宿主が免疫不全をきたした場合，虫体が急激に増加し病原性が顕著化，重症となる．このような疾患を日和見感染症という．ヒトの感染率はアメリカ，イギリスで8–22%，中央アメリカ，南アメリカおよびヨーロッパ大陸では30–90%と推定されている（Aguirre et al., 2019）．日本では大規模な調査がここ30年以上行われていないが，5–10%程と考えられている（永宗，2018）．環境条件，文化

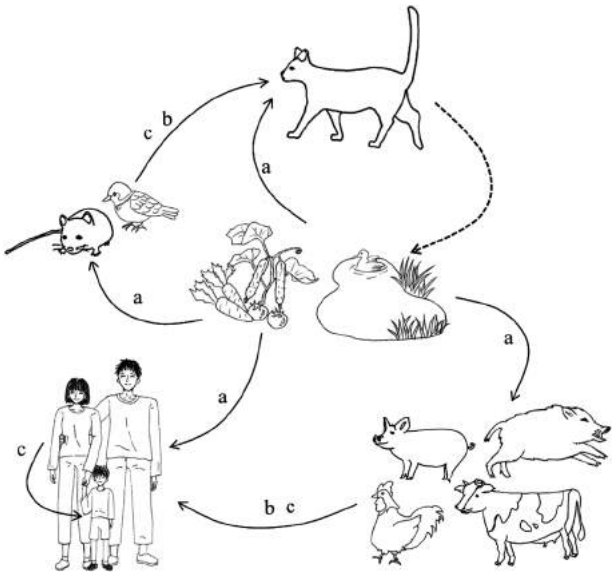

Fig. 2.　Transmission cycle of *Toxoplasma gondii*. The dotted arrows indicate that oocysts from felines are discharged into the environment. a, infection route by sporulated oocysts; b, infection route by cysts. c, infection route by tachyzoites.

および食習慣，動物との距離等の要因から感染率は地域や年齢によって異なるが，これほどまでに保虫者の割合が高いのは，トキソプラズマ原虫のヒトへの感染経路の多様さに起因する．

オーシストによる感染

ヒトを含む温血動物は，ネコ科動物の糞便中に排出された成熟オーシストを経口摂取することにより感染する．外界に放出されたオーシストで汚染された水の摂取，またガーデニング等で土壌とともに手に付着したオーシストの摂取，汚染された野菜を良く洗わずに食することなどによって起こる（Fig. 2a）．ネコは土砂で排便するため，これらの汚染源との接触は感染の危険を伴う．土壌を介して感染した67.0%は子供または青年との統計がある（Pinto-Ferreira et al., 2019）．おそらく子供達が砂場や土で遊び，間接的にオーシストを摂取すると考えられる．水を介した最初のアウトブレイクは，1979年パナマで野生のネコ科動物の糞の汚染により発生し（Benenson et al., 1982），1995年には汚染された水道水による集団感染がカナダで発生した（Bowie et al., 1997）．水を介した集団感染の報告はブラジルからが多く，2001年の400人を超えるトキソプラズマ症のアウトブレイクの原因は，ろ過処理のされていない市が運営する水道水，また汚染された水で作られたアイスクリームだった（de Moura et al., 2006）．

オーシストの生存能力は環境の影響を受け左右されるが，気温－20°Cから35°Cにおいて湿度のある土壌では18ヵ月間，4°Cから22°Cの水中では200日以上と長期に亘り感染力を維持すると実験的に証明されている（Dubey, 1995, 2004; Shapiro et al., 2019）．環境中のオーシストの生存期間が長いことから，ゴキブリやハエ，等脚類およびミミズなどによる機械的伝播が示唆されているのは興味深い（Wallace, 1973; Frenkel et al., 1975）．近年，環境DNAに関する研究は解析技術の向上に伴い発展している．今後，自然界におけるオーシストの生存率，分布域の詳細な調査が望まれる．

シストによる感染

トキソプラズマ原虫は，ほぼ全ての温血動物に感染可能であるため，シストを保有する未調理の生肉，加熱不十分な肉の摂取は感染の危険を伴う（Fig. 2b）．世界保健機関は，トキソプラズマ症を主要な食品媒介寄生虫病の一つとしており（World Health Organization, 2015），アメリカにおいては，年間22.5万人のトキソプラズマ症新規患者のうち，11.2万人が食品媒介性によるものであり，死亡者は375人で食品に起因する死亡率の20.7%を占めると分析している（Mead et al., 1999）．シストによる感染は，食文化および食習慣に起因する場合も多く，時に生肉食を伴う伝統的レバノン料理やラムやビーフのレア肉を好み食したことによる家庭内集団感染により発熱，リンパ節腫脹や網膜脈絡膜炎を伴う急性トキソプラズマ症の発症がたびたび報告されている（Masur et al., 1978; De Silva et al., 1984）．1987年の報告では，日本の農家集団3,606人のトキソプラズマ原虫に対する抗体について調査した結果，抗体陽性率は女性で16.3%，男性で28.8%であり，男性の陽性率が高い理由として，生肉の摂取率が高いこと（男性41.6%，女性17.2%）をひとつの要因としている（Konishi and Takahashi, 1987）．トキソプラズマ症に限らず，生肉の摂取による細菌および寄生虫の感染リスク減少のため，各国，食品衛生に関する指針を制定しているが，多くの国において，ヒトや動物の集団におけるトキソプラズマ症に関するデータは乏しい（Torgerson et al., 2014）．

全世界におけるトキソプラズマ症集団感染の感染経路の推移を1967年から2018年3月にかけて公表された573件のデータベースをもとに解析した報告では，1960年代，1990年代では，主に肉および肉派生物に含まれるシストの摂取によるものであったが，2000年代では，水，砂，土壌中のオーシストが主原因となり，2010年代では，生の果物や野菜に付着したオーシストによるものである（Pint-Ferreira et al., 2019）．ネコの個体数管理，行動把握が重要であるのはもちろんのこと，食の安全に関する意識・対策の向上，生活様式の変化など様々な要因により，感染経路が推移するものと思われる．ヒトのトキソプラズマ症の発生パターンを理解することで，家畜動物の健康管理，疾患防御技術の開発および土壌を含む生態系の管理等，より効果的で的を絞った対策が可能になると考えられる．

タキゾイトによる感染

オーシストあるいはシストを摂取することによるトキソプラズマ症感染発生率は，これまでの報告の統計学的解析から，それぞれ44.1%, 47.1%とされており（Pinto-Ferreira et al., 2019），主要なヒトへの感染経路とされている．タキゾイトを介したトキソプラズマ原虫感染は，中間宿主から離れると容易に感染力を失うことから重要視されない傾向にある．発生頻度は低いが，山羊などの生乳を飲んだことによる網膜脈絡膜炎を伴う急性トキソプラズマ症の発症や（Riemann et al., 1975; Sacks et al., 1982）（Fig. 2c），山羊，ヒツジ，ラクダや牛などの中間宿主の生乳中にタキゾイトが検出されている（Mancianti et al., 2013; Saad et al., 2018; Iacobucci et al., 2019）．タキゾイトの感染力維持能力についての研究もなされており（Koethe et al., 2017），殺菌されていない生乳を飲むことは危険であるとされる（Pereira et al., 2010）．

胎盤感染

上記，いずれかの経路によって妊婦が初めて感染を受けると，タキゾイトとなって増殖し胎盤を通って胎児に移行（Fig. 2c），先天性トキソプラズマ児を分娩することがある．妊娠期間中のいつトキソプラズマ原虫に感染するか，また個人の免疫力によって，発症率は異なる．妊娠初期での胎児感染の確率は低いものの重症化しやすく，水頭症，脳内石灰化，小頭症，網脈絡膜炎，小眼球症，精神神経・運動障害，肝脾腫などを起こす．妊娠後期での感染は軽症あるいは不顕性の場合が多いとされるが，出生時に無症状であっても，遅発型として，成人までに網脈絡膜炎や，てんかん様発作，痙攣などの神経症状，知的障害等を呈することがある．しかしながら，トキソプラズマ原虫胎内感染の実態は正確に把握されていないのが実状である．日本国内において，1997年7月から2004年12月までの7年半に亘り4,466人の妊婦を対象に，抗トキソプラズマ抗体価を測定した結果，有病率は10.3%で，35歳以上の女性で有意に高く，妊娠中のトキソプラズマ一次感染率は0.25%と推定されている（Sakikawa et al., 2012）．トキソプラズマ原虫に対する抗体を有する妊婦469人を対象に，PCR試験を行った結果，12例において出生前羊水または出生時羊水，新生児血液で陽性であり，うち7例は先天性トキソプラズマ症と診断されたとの報告がある（Yamada et al., 2019）．胎児死産や流産の原因は検査されないこともあり，先天性トキソプラズマ症の実際の患者数は報告数より多く，年間136から339人と推定されている（渡邊，2015）．

4. 家畜におけるトキソプラズマ感染

日本では，トキソプラズマ症は家畜伝染病予防法に定める「届出伝染病」に指定されており，対象家畜はめん羊，山羊，豚，イノシシである．終宿主のネコ科動物は対象動物となっていない．また，ネコは一般に無症状であることが多いのに対し，めん羊では流産，山羊および豚では発熱，咳，鼻汁，腹式呼吸，皮膚の紫赤斑，起立不能を示す．と畜検査において，トキソプラズマ原虫の感染が認められた場合は，と畜禁止あるいは全部破棄の措置が取られる．農林水産省の監視伝染病発生年報によると，ここ数年のトキソプラズマ症の発生は2019年23戸数47頭，2018年11戸数16頭，2017年41戸数74頭，2016年38戸数85頭，いずれも沖縄県からの報告である（農林水産省，2020a）．急性感染であれば，主としてリンパ節に特徴のある腫脹や壊死などの病理変化を伴い，肝臓の壊死巣などから診断可能であるが，慢性感染状態で脳や筋肉にシストを形成している場合は，臓器に異常は認められず，と畜検査をすり抜けてしまうことになる．実際，過去には東京芝浦と畜場ならびに大阪府のと畜場において，生体検査，解体検査で全く異常の認められなかった豚の横隔膜筋を検体として，原虫分離を行ったところ，原虫陽性率はそれぞれ4.9%, 11.8%であったとの記録や，豚の小間切肉，市販品100gからの原虫分離陽性率は19.3%（25/130検体）との記録がある（中山，1969）．急性感染の豚の発生は沖縄県に限局しているが，慢性感染の指標となるトキソプラズマ原虫に対する抗体陽性率については全国各地から報告されている．例えば，2007年9月から2008年1月までのヒツジの調査では，北海道33.16%（63/191），岩手県25.64%（10/39），青森県5.71%（2/35）と報告されている（Giangaspero et al., 2013）．2012年8月から2013年8月に実施された岐阜県の食肉処理場調査では，牛7.3%（31/422），豚5.2%（8/155）（Matsuo et al., 2014），2013年10月から12月に実施された広島県のと畜場調査では，牛408頭，豚386頭での抗体陽性率はそれぞれ2.2%, 6.2%（村田ら，2015）との報告がある．沖縄県では食肉処理場の山羊頭頂筋試料よりトキソプラズマ原虫が分離されている（Kyan et al., 2012）．さらに，同じく沖縄県で，外部導入した初産山羊5頭中4頭でトキソプラズマ症による流産の報告がある（荒木ら，2011）．1ヵ月間の全国の豚と畜頭数は，2020年7月を例にとると135万6,453頭であるのに対し（農林水産省，2020b），家畜を対象としたトキソプラズマ原虫感染に対する抗体保有率の調査は非常に少ないと言わざるを得ない．

5. 野生動物へのトキソプラズマ感染

トキソプラズマ原虫の感染は，家畜のみならず，自然生態系に生息する野生動物にも拡大している．日本に生息する様々な野生動物について抗トキソプラズマ抗体保有率の報告がなされており，在来種においては，ニホンカモシカ *Capricornis crispus* R. Swinhoeで抗体保有率24.4%（Sakae and Ishida, 2012），イノシシ *Sus scrofa leucomystax* Linnaeusで6.3%，ニホンジカ *Cervus nippon* Temminckで1.9%（Matsumoto et al., 2011），エゾシカ *Cervus nippon yesonsis* Heudeで47.5%（Hoshina et al., 2019），タヌキ *Nyctereutes procyonoides viverrinus* Grayで3.3%（根上ら，1998）等，　外来種においては，アライグマ *Procyon lotor* Linnaeusで9.9%（Sato et al., 2011），フイリマングース *Urva auropunctata* Hodgsonで10.5%（Ito et al., 2020）などが報告されている（Table 1）．また，ゼニガタアザラシ *Phoca vituline stejneger* Linnaeusやミナミハンドウイルカ *Tursiops aduncus* Ehrenberg，シャチ *Orcinus orca* Linnaeus等，海洋生物における感染も示されている（Murata et al., 2004; Fujii et al., 2007）．鹿児島県奄美大島においては，絶滅危惧種のアマミノクロウサギ *Pentalagus furnessi* Stone（久保ら，2013）とアマミトゲネズミ *Tokudaia osimensis* Abe（Tokiwa et al., 2019）の死亡個体のトキソプラズマ原虫感染が確認され，剖検の結果，死因はトキソプラズマ感染である可能性が指摘されている．アマミノクロウサギとアマミトゲネズミは，ネコに高頻度で捕食されているが（Shionosaki et al., 2015），捕食のみならずネコ由来の感染症の影響も受けている可能性があり，今後，他の種も含めより詳細な感染実態の調査が望まれる．

以上のように，限られた種および地域における報告ではあるものの，在来種から外来種，陸域から水域まで，幅広くトキソプラズマ原虫の感染が確認されており，トキソプラズマ原虫の伝播サイクルが自然生態系にも拡大していることが明らかになっている．

6. ネコのトキソプラズマ感染

トキソプラズマ原虫を伝播する主たる根源であるネコのトキソプラズマ原虫に対する抗体保有率調査についても，全国規模での疫学調査，経時的調査が行われているとは言い難い．2000年以前は，各地域で動物保護センターでの保護ネコやノラネコ，動物病院の患畜ネコを対象としてトキソプラズマ原虫に対する抗体検査報告があるが（Iseki et al., 1974; 室作，1976; Oikawa et al., 1990; Mizusawa et al., 1991; Maruyama et al., 1998），近年の情報は乏しい．室内飼いのネコと外ネ

Table 1.　Seroprevalance of *Toxoplasma gondii* infection in wild animals in Japan.

Species	Year	Research area	N*	Seroprevalence (%)	Methods**	Reference
Capricornis crispus	1981–1984	Gifu	765	5.4	LAT	Kinjo et al., 1987
	2006–2010	Nagano	41	24.4	LAT	Sakae and Ishida, 2012
Cervus nippon centralis	1995	Iwate	5	0	LAT	Neagari et al., 1998
	2004–2007	Gunma	107	1.9	LAT	Matsumoto et al., 2011
Cervus nippon yesoensis	2003	Eastern Hokkaido	12	0	LAT	Omata et al., 2005a
	2010–2011	Eastern Hokkaido	201	1.5	LAT	Bando et al., 2015
	2010–2012	Eastern Hokkaido	80	47.5	SFDT	Hoshina et al., 2019
Nyctereutes procyonoides viverrinus	1995	Kanagawa	30	3.3	LAT	Neagari et al., 1998
Orcinus orca	1988	Japanese coast	2	50	LAT/IHAT	Murata et al., 2004
	2005	Shiretoko, Hokkaido	8	0	LAT	Omata et al., 2006
Phoca vitulina stejnegeri	2005	Nosappu, Hokkaido	77	4	ELISA	Fujii et al., 2007
P. fasciata	2005	Nosappu, Hokkaido	2	0	ELISA	Fujii et al., 2007
P. largha	2005	Nosappu, Hokkaido	9	0	ELISA	Fujii et al., 2007
Procyon lotor	2000	Ishikari, Hokkaido	248	13.7	LAT	Matoba et al., 2002
	2000–2009	Hokkaido	492	7.9	LAT	Sato et al., 2011
	2000–2009	Kanagawa and Chiba	285	16.5	LAT	Sato et al., 2011
	2000–2009	Wakayama	152	3.9	LAT	Sato et al., 2011
Sus scrofa leucomystax	1980–1988	Kobe, Hyogo	17	52.9	LAT	Murata, 1988
	2000–2001	Amakusa, Kumamoto	90	1.1	LAT	Shibashi et al., 2004
	2003–2004	Shikoku	115	0	LAT/ELISA	Omata et al., 2005b
	2004–2007	Gunma	175	6.3	LAT	Matsumoto et al., 2011
Sus scrofa riukiuanus	ND***	Iriomote Island, Okinawa	108	5.6	LAT	Nogami et al., 1999
Urva auropunctata	1989–2005	Amami-Oshima Island	362	10.5	LAT	Ito et al., 2020

*N, number of tested. **Methods, LAT: latex agglutination test, SFDT: Sabin-Feldman dye test, IHAT: indirect hemagglutination test, ELISA: Enzyme-linked immunosorbent assay. ***ND, no discribed.

コ（放し飼いネコ，ノラネコ，ノネコなど野外で生活するネコ）のトキソプラズマ原虫に対する抗体保有率を比較した場合，外ネコの方が高いことが想定される．その理由は，トキソプラズマ原虫に感染した他のネコや，さまざまな中間宿主が存在する野外環境において，オーシストで汚染された水や土壌に接することや，中間宿主の捕食に伴うシスト感染が生じるなど，様々な感染経路に晒されるからである（Fig. 2）．事実，日本各地の動物病院での調査において，放し飼いネコの抗体保有率は11.1%で，室内飼育で時々外に出るネコの抗体保有率4.8%より有意に高いことが示された（Nogami et al., 1998）．また，東京都都市部および郊外のネコを比較した調査では，郊外のネコの抗体保有率は8.8%（1999年–2001年），13.6%（2009年–2011年）であり，都市部の2.5%（1999年–2001年），1.7%（2009年–2011年）を有意に上回っている（Oi et al., 2015）．近年，島嶼地域における調査も行われており，奄美大島では外ネコの抗体保有率が9%（123/1,363）と報告されている（Matsuu et al., 2017）．また，著者らは奄美大島に隣接する鹿児島県徳之島において，2017年から2018年に捕獲された外ネコの血清中抗トキソプラズマ抗体の解析を行ったところ，抗体陽性率は47.2%（59/125）であり，これまで報告されているどの地域に比べても顕著に高い値を示した（Shoshi et al., 2020）．

新規に感染したネコは，新たに環境中へのオーシストの排出者となる．そして野外における伝播サイクルは，外ネコや，中間宿主となる野生動物が多いほど，またオーシストが残存しやすい環境が多いほど拡大する．さらに外ネコとのふれあいや汚染土壌との接触により，ネコを飼っている，いないに関わらず，ヒトもそのサイクルに組み込まれることになる．

7.　人獣共通感染症対策としてのネコの適正飼養

外ネコはヒトが住むほとんどの地域で普通に見られ，さらに人間の活動領域と自然環境をまたいで活動する．こうした外ネコの多さと行動様式が，トキソプラズマ原虫の伝播サイクルが各地で成立している根源的な理由である．外ネコは，ネコの放し飼い，捨てネコ，それらが野外で繁殖して増えた個体に由来するが，さらにヒトの餌付け行為が，外ネコの個体数を底上げしている可能性も示唆されている（Kazato et al., 2020）．また，外ネコの行動範囲は，ヒトの居住エリアに収まらず，畜舎（坂本ら，2019）や自然環境（Maeda et al., 2019）にも及んでいることが明らかになり，畜産業，および消費者の健康，自然生態系へのリスクとなっていることが示唆されている．Kazato et al.（2020）は，19日間の外ネコの行動追跡調査によって，その移動距離が12kmに達したことを報告している．また，Kobayashi et al.（2019）は，捕獲された外ネコの糞から，捕獲地点より4km以上離れたエリアにしか生息しない希少種の体毛や骨などが検出されたことを報告し，外ネコの長距離移動の可能性を示唆している．つま

Fig. 3. Free-ranging cats fed by livestock farmers. The photo was taken in August 2019 on Tokunoshima Island, Japan.

り，影響の及ぶ範囲は，見渡す範囲にとどまらず，数キロ先まで及ぶ可能性があり，対策のためには広域での連携が必須である．

伝播サイクルを遮断するためには，これまで当たり前だったネコの餌付けや放し飼いから，室内飼いをスタンダードとし，ネコの新規感染と野外環境のオーシスト汚染を防ぐことが必要である．また，ヒトの活動エリア（住宅地，公園，農地，畜舎等）での感染リスクを優先的に低減するためにも，外ネコおよび中間宿主の管理も，伝播サイクルを遮断する有効な手段となろう．一方で，本来感染症に十分留意すべき畜舎において，ネズミ対策のために畜産業者自ら積極的にネコの飼養や外ネコの餌付けがなされている実態が明らかになり（Kazato et al., 2020）（Fig. 3），人獣共通感染症リスクの周知と認識が不十分であることが浮き彫りとなっている．これに関しては，家畜伝染病予防法の2020年の改正に基づいて近年出された「飼養衛生管理基準」により（農林水産省，2020c），畜舎におけるネコ等の愛玩動物の飼育が禁止され，さらにネズミ等の駆除のために殺鼠剤の使用等の措置を講ずることが明記された．つまりネズミ対策はネコに拠らない手法で積極的に実施すべきという基準であり，トキソプラズマの終宿主と中間宿主の両者の管理につながり得る大きな進展である．本基準が十分周知され実行力を持って運用されることが望まれる．

8. おわりに

近代化が進み，衛生環境が向上した国で生活する我々日本人の中には，寄生虫感染症は過去のものと考える人も少なくないであろう．確かに我が国では，日本住血吸虫症やリンパ系フィラリア症を根絶した経験がある．小学校で長く行われていた蟯虫検査も2015年度限りで廃止された．トキソプラズマ症についても，1985年に先天性トキソプラズマ症の全国調査が行われ，1例のみが水頭症と診断されたことから（松本ら，1987），本症の発生頻度は極めて低く克服は目前と思われていた．しかしながら，診断法や検査技術の発展に伴いトキソプラズマ症診断例が増加したのか，あるいはトキソプラズマ原虫が勢力を増したのか真偽のほどは不明であるが，感染は収束の兆しを見せず，未だ注意すべき感染症であることに変わりはない．今後も加速するグローバル化，気候変動，人的環境変化，外来種の侵入などによる生態系の変動は，トキソプラズマ症のみならず人獣共通感染症の解決をより一層難しくする可能性を秘めている．多種多様な生物種間の相互作用が，人間の生活圏，野生動物，自然環境にまたがり複雑にかかわっているトキソプラズマ症をコントロールするには，持続可能な自然とヒトと動物の関係の構築を目指すワンヘルスアプローチが必須であり，様々な関係者，研究領域の垣根を超えた連携の推進が望まれる．

謝　辞

トキソプラズマ原虫タキゾイトの写真をご提供いただきました日本獣医生命科学大学，常盤俊大先生に感謝します．本研究は，学術振興会科学研究費補助金（JP 1K19868）および(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20204005），（JPMEERF20204006）の成果である．最後にイラストを描いてくれた古澤香保里氏，藤井凜氏に感謝します．

文　献

Aguirre, A. A., Longcore, T., Barbieri, M., Dabritz, H., Hill, D., Klein, P. N., Lepczyk, C., Lilly, E. L., McLeod, R., Milcarsky, J., Murphy, C. E., Su, C., VanWormer, E., Yolken, R. and Sizemore, G. C. 2019. The one health approach to Toxoplasmosis: epidemiology, control, and prevention strategies. *EcoHealth*, 16: 378–390.

荒木美穂，仲村圭子，丹羽　毅，平安山英登．2011. 山羊で発生した*Toxoplasma gondii*による流産．家畜衛生週報，3160：210–211.

Bando, H., Yoshimura, A., Koketsu, M., Soga, A., Taniguchi, Y., Ozaki, M., Suzuki, M., Kanuka, H. and Fukumoto, S. 2015. Serological survey of *Toxoplasma gondii* in wild sika deer in Eastern Hokkaido, Japan. *J. Protozool. Res.*, 25: 48–52.

Benenson, M. W., Takafuji, E. T., Lemon, S. M., Greenup, R. L. and Sulze, A. J. 1982. Oocyst-transmitted toxoplasmosis associated with ingestion of contaminated water. *N. Engl. J. Med.*, 307: 666–669.

Bowie, W. R., King, A. S., Werker, D. H., Isaac-Renton, J. L., Bell, A., Eng, S. B. and Marion, S. A.; The BC Toxoplasma Investigation Team. 1997. Outbreak of toxoplasmosis associated with municipal drinking water. The BC Toxoplasma Investigation Team. *Lancet*, 350: 173–177.

de Moura, L., Garcia Bahia-Oliveira, L. M., Wada, M. Y., Jones, J. L., Tuboi, S. H., Eduardo, H., Carmo, Ramalho, W. M., Camargo, N. J. Trevisan, R., Graça, R. M., da Silva, A. J., Moura, I., Dubey, J. P. and Garrett, D. O. 2006. Waterborne toxoplasmosis, Brazil, from Field to Gene *Emerg. Infect. Dis.*, 12: 326–329.

De Silva, L. M., Mulcahy, D. L. and Kamath, K. R. 1984. A family outbreak of toxoplasmosis: a serendipitous finding. *J. Infect.*, 8: 163–167.

Dubey, J. P. 1995. Duration of immunity to shedding of *Toxoplasma gondii* oocysts by cats. *J. Parasitol.*, 81: 410–415.

Dubey, J. P. 2004. Toxoplasmosis—a waterborne zoonosis. *Vet. Parasitol.*, 126: 57–72.

Dubey, J. P., Miller, N. L. and Frenkel, J. K. 1970a. Characterization of the new fecal form of *Toxoplasma gondii*. *J. Parasitol.*, 56: 447–456.

Dubey, J. P., Miller, N. L. and Frenkel, J. K. 1970b. The *Toxoplasma gondii* oocyst from cat feces. *J. Exp. Med.*, 132: 636–662.

Frenkel, J. K., Dubey, J. P. and Miller, N. L. 1970. *Toxoplasma gondii* in cats: fecal stages identified as coccidian oocysts. *Science*, 167:

893–896.

Frenkel, J. K., Ruiz, A. and Chinchilla, M. 1975. Soil survival of *Toxoplasma* oocysts in Kansas and Costa Rica. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 24: 439–443.

Fujii, K., Kakumoto, C., Kobayashi, M., Saito, S., Kariya, T., Watanabe, Y., Xuan, X., Igarashi, I. and Suzuki, M. 2007. Seroepidemiology of *Toxoplasma gondii* and *Neospora caninum* in Seals around Hokkaido, Japan. *J. Vet. Med. Sci.*, 69: 393–398.

Giangaspero, M., Bonfini, B., Orusa, R., Savini, G., Osawa, T. and Harasawa, R. 2013. Epidemiological survey for *Toxoplasma gondii, Chlamydia psittaci* var. *ovis, Mycobacterium paratuberculosis, Coxiella burnetii, Brucella* spp., leptospirosis and Orf virus among sheep from northern districts of Japan. *J. Vet. Med. Sci.*, 75: 679–684.

Hartley, W. J. and Marshall, S. C. 1957. Toxoplasmosis as a cause of ovine perinatal mortality. *N. Z. Vet. J.*, 5: 119–124.

Hoshina, T., Fukumoto, S., Aonuma, H., Saiki, E., Hori, S. and Kanuka, H. 2019. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in wild sika deer in Japan. *Parasitol. Int.*, 71: 76–79.

Iacobucci, E., Taus, N. S., Ueti, M. W., Sukhbaatar, L., Bastsukh, Z., Papageorgiou, S. and Fritz, H. 2019. Detection and genotypic characterization of *Toxoplasma gondii* DNA within the milk of Mongolian livestock. *Parasitol. Res.*, 118: 2005–2008.

Iseki, M., Tanabe, K., Umi, S., Sano, R. and Takada, S. 1974. A survey on *Toxoplasma* and other protozoal and helminthic parasites of adult stray cats in Osaka area. *Jpn. J. Parasitol.*, 23: 317–322.

Ito, K., Abe, S., Yamashita, R., Sumiyama, D., Kanazawa, T. and Murata, K. 2020. Prevalence of serum antibodies to *Toxoplasma gondii* in the small Indian mongoose (*Herpestes auropunctatus*) on Amami-Oshima Island, Japan. *J. Vet. Med. Sci.*, 82: 229–231.

Kazato, K., Watari, Y. and Miyashita, T. 2020. Identification of the population source of free-ranging cats threatening endemic species on Tokunoshima Island, Japan. *Mammal Res.*, 65: 719–727.

Kinjo, T., Minamoto, N. and Suzuki, J. 1987. Serologic studies on five selected zoonoses in wild Japanese serows (*Capricornis crispus*). *Nippon Juigaku Zasshi*, 49: 1027–1033.

Kobayashi, S., Kinjo, T., Kuroda, Y., Kinjo, M., Okawara, Y., Izawa, M., Onuma, M., Haga, A., Nakaya, Y. and Nagamine, T. 2019. Predation on endangered species by cats in the northern forests of Okinawa-Jima Island, Japan. *Mammal Study*, 45: 63–70.

Koethe, M., Schade, C., Fehlhaber, K. and Ludewig, M. 2017. Survival of *Toxoplasma gondii* tachyzoites in simulated gastric fluid and cow's milk. *Vet. Parasitol.*, 233: 111–114.

Konishi, E. and Takahashi, J. 1987. Some epidemiological aspects of *Toxoplasma* infections in a population of farmers in Japan. *Int. J. Epidemiol.*, 16: 277–281.

久保正仁，中嶋朋美，本田拓摩，河内淑恵，伊藤結，服部正策，倉石武．2013. アマミノクロウサギ（*Pentalagus furnessi*）における自然発生病変の病理組織学的検索：ホルマリン保存臓器を用いた予備的研究．*Jpn. J. Zoo Wildl. Med.*, 18: 65–70.

Kyan, H., Taira, M., Yamamoto, A., Inaba, C. and Zakimi, S. 2012. Isolation and characterization of *Toxoplasma gondii* genotypes from goats at an abattoir in Okinawa. *Jpn. J. Infect. Dis.*, 65: 167–170.

Maeda, T., Nakashita, R., Shionosaki, K., Yamada, F. and Watari, Y. 2019. Predation on endangered species by human-subsidized domestic cats on Tokunoshima Island. *Sci. Rep.*, 9: 16200.

Mancianti, F., Nardoni, S., D'Ascenzi, C., Pedonese, F., Mugnaini, L., Franco, F. and Papini, R. 2013. Seroprevalence, detection of DNA in blood and milk, and genotyping of *Toxoplasma gondii* in a goat population in Italy. *BioMed Res. Int.*, 2013: 905326.

Maruyama, S., Hiraga, S., Yokoyama, E., Naoi, M., Tsuruoka, Y., Ogura, Y., Tamura, K., Namba, S., Kameyama, Y., Nakamura, S. and Katsube, Y. 1998. Seroprevalence of *Bartonella henselae* and *Toxoplasma gondii* infections among pet cats in Kanagawa and Saitama Prefectures. *J. Vet. Med. Sci.*, 60: 997–1000.

Masur, H., Jones, T. C., Lempert, J. A. and Cherubini, T. D. 1978. Outbreak of toxoplasmosis in a family and documentation of acquired retinochoroiditis. *Am. J. Med.*, 64: 396–402.

的場洋平，浅野　玄，増渕寿子，浅川満彦．2002. 外来種アライグマ（*Procyon lotor*）からのコクシジウム類*Eimeria*属および*Isospora*属の初確認とトキソプラズマ抗体の保有状況．*Jpn. J. Zoo Wildl. Med.*, 7: 87–90.

松本慶蔵，坂本　祐，鈴木　寛，永武　毅．1987. 妊婦とToxoplasma—全国調査を中心に—．産科と婦人科，54: 326–328.

Matsumoto, J., Kako, Y., Morita, Y., Kabeya, H., Sakano, C., Nagai, A., Maruyama, S. and Nogami, S. 2011. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in wild boars (*Sus scrofa leucomystax*) and wild sika deer (*Cervus nippon*) in Gunma Prefecture, Japan. *Parasitol. Int.*, 60: 331–332.

Matsuo, K., Kamai, R., Uetsu, H., Goto, H., Takashima, Y. and Nagamune, K. 2014. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection in cattle, horses, pigs and chickens in Japan. *Parasitol. Int.*, 63: 638–639.

Matsuu, A., Yokota, S. I., Ito, K. and Masatani, T. 2017. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in free-ranging and feral cats on Amami Oshima Island, Japan. *J. Vet. Med. Sci.*, 79: 1853–1856.

Mead, P. S., Slutsker, L., Dietz, V., McCaig, L. F., Bresee, J. S., Shapiro, C., Griffin, P. M. and Tauxe, R. V. 1999. Food-related illness and death in the United States. *Emerg. Infect. Dis.*, 5: 607–625.

水沢　馨，大沢浩一，遠山　完，井口孝義，小野洋一，野上貞雄，藤田美恵，石合　健，井上　勇．1991. 埼玉県における猫のトキソプラズマ病の血清疫学的調査．日本獣医師会雑誌，44: 741–744.

村田浩一．1988. 神戸市近郊の野生イノシシのトキソプラズマ抗体保有状況．日本獣医師会雑誌，41: 811–813.

村田清香，河田みなみ，太田垣寧，田原彰敏，瀬尾芳子，堀敬太．2015. 広島市と畜場における牛及び豚のトキソプラズマ抗体保有状況．広島県獣医学会雑誌，30: 113–115.

Murata, K., Mizuta, K., Imazu, K., Terasawa, F., Taki, M. and Endoh, T. 2004. The prevalence of *Toxoplasma gondii* antibodies in wild and captive cetaceans from Japan. *J. Parasitol.*, 90: 896–898.

室作　昭．1976. 猫におけるトキソプラズマ抗体の調査と，2-Sulfamoyl-4,4′-diaminodiphenylsulfone長期投与による抗体価の推移．日本獣医師会雑誌，29: 263–267.

永宗喜三郎．2018. 食物に潜み「ヒトに害をなす」原生生物．アメーバのはなし—原生生物・人・感染症—（永宗喜三郎，島野智之，矢吹彬憲編），pp. 26–34. 朝倉書店，東京.

中山良三郎．1969. ブタのToxoplasma症と屠畜検査．生活衛生，13: 1–9.

根上泰子，酒井建夫，野上貞夫，海保郁男，加藤千晴．1998. 都市近郊地域に生息するタヌキおよびシカの抗体保有状況．感染症学雑誌，72: 331–334.

Nicolle, C. and Manceaux, L. 1908. Sur une infection a` corps de Leishman (ou organismes voisins) du gondi. *C. R. Seances Acad. Sci.*, 147: 763–766 (In French).

Nogami, S., Moritomo, T., Kamata, H., Tamura, Y., Sakai, T., Nakagaki, K. and Motoyoshi, S. 1998. Seroprevalence against *Toxoplasma gondii* in domiciled cats in Japan. *J. Vet. Med. Sci.*, 60: 1001–1004.

Nogami, S., Tabata, A., Moritomo, T. and Hayashi, Y. 1999. Prevalence of anti-*Toxoplasma gondii* antibody in wild boar, *Sus scrofa riukiuanus*, on Iriomote Island, Japan. *Vet. Res. Commun.*, 23: 211–214.

農林水産省．監視伝染病の発生状況．2020a. [accessed October 1, 2020]. Available from: https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/kansi_densen/kansi_densen.html

農林水産省．食肉流通統計（令和2年7月分）．2020b.

[accessed October 1, 2020]. Available from: https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/tikusan_ryutu/niku/r2/m7/index.html

農林水産省．飼養衛生管理基準について．2020c. [accessed November 26, 2020]. Available from: https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/katiku_yobo/k_shiyou/

Omata, Y., Ishiguro, N., Kano, R., Masukata, Y., Kudo, A., Kamiya, H., Fukui, H., Igarashi, M., Maeda, R., Nishimura, M. and Saito, A. 2005a. Prevalence of *Toxoplasma gondii* and *Neospora caninum* in Sika deer from eastern Hokkaido, Japan. *J. Wildl. Dis.*, 41: 454–458.

Omata, Y., Murata, K., Ito, K. and Ishiguro, N. 2005b. Antibodies to *Toxoplasma gondii* in free-ranging wild boar (*Sus scrofa leucomystax*) in Shikoku, Japan. *Jpn. J. Zoo Wildl. Med.*, 10: 99–102.

Omata, Y., Umeshita, Y., Watarai, M., Tachibana, M., Sasaki, M., Murata, K. and Yamada, K. 2006. Investigation for presence of *Neospora caninum, Toxoplasma gondii* and *Brucella-species* infection in killer whales (*Orcinus orca*) mass-stranded on the coast of Shiretoko, Hokkaido. *J. Vet. Med. Sci.*, 68: 523–526.

Oi, M., Yoshikawa, S., Maruyama, S. and Nogami, S. 2015. Comparison of *Toxoplasma gondii* seroprevalence in shelter cats and dogs during 1999–2001 and 2009–2011 in Tokyo, Japan. *PLoS One*, 10: e0135956.

Oikawa, H., Omata, Y., Kanda, M., Mikazuki, K., Yano, K. and Nakabayashi, T. 1990. Survey on *Toxoplasma* infection in stray cats in western area of Japan during a two-year period. *Jpn. J. Parasitol.*, 39: 462–467.

Pereira, K. S., Franco, R. M. and Leal, D. A. 2010. Transmission of toxoplasmosis (*Toxoplasma gondii*) by foods. *Adv. Food Nutr. Res.*, 60: 1–19.

Pinto-Ferreira, F., Caldart, E. T., Pasquali, A. K. S., Mitsuka-Breganó, R., Freire, R. L. and Navarro, I. T. 2019. Patterns of Transmission and Sources of Infection in Outbreaks of Human Toxoplasmosis. *Emerg. Infect. Dis.*, 25: 2177–2182.

Riemann, H. P., Meyer, M. E., Theis, J. H., Kelso, G. and Behymer, D. E. 1975. Toxoplasmosis in an infant fed unpasteurized goat milk. *J. Pediatr.*, 87: 573–576.

Saad, N. M., Hussein, A. A. A. and Ewida, R. M. 2018. Occurrence of *Toxoplasma gondii* in raw goat, sheep, and camel milk in Upper Egypt. *Vet. World*, 11: 1262–1265.

Sacks, J. J., Roberto, R. R. and Brooks, N. F. 1982. Toxoplasmosis infection associated with raw goat's milk. *JAMA*, 248: 1728–1732.

Sakae, C. and Ishida, T. 2012. Direct evidence for *Toxoplasma gondii* infection in a wild Serow (*Capricornis crispus*) from mainland Japan. *J. Parasitol.*, 98: 224–225.

坂本信介，畔柳　聴，右京里那，小林郁雄，家入誠二．2019. 牧場施設内外および季節間での野生哺乳類の出現頻度の差異．日本暖地畜産学会報，62: 99–105.

Sakikawa, M., Noda, S., Hanaoka, M., Nakayama, H., Hojo, S., Kakinoki, S., Nakata, M., Yasuda, T., Ikenoue, T. and Kojima, T. 2012. Anti-*Toxoplasma* antibody prevalence, primary infection rate, and risk factors in a study of toxoplasmosis in 4,466 pregnant women in Japan. *Clin. Vaccine Immunol.*, 19: 365–367.

Sato, S., Kabeya, H., Makino, T., Suzuki, K., Asano, M., Inoue, S., Sentsui, H., Nogami, S. and Maruyama, S. 2011. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection in feral Raccoons (*Procyon lotor*) in Japan. *J. Parasitol.*, 97: 956–957.

Shapiro, K., Bahia-Oliveira, L., Dixon, B., Dumètre, A., de Wit, L. A., VanWormer, E. and Villena, I. 2019. Environmental transmission of *Toxoplasma gondii*: oocysts in water, soil and food. *Food Waterborne Parasitol.*, 15: e00049.

Shibashi, T., Narasaki, K., Yoshida, M. and Nogami, S. 2004. Prevalence of anti-*Toxoplasma gondii* antibody in hunter-killed wild boars, *Sus Scrofa leucomystax*, on Amakusa Island, Kumamoto Prefecture, Japan. *J. Vet. Med. Sci.*, 66: 327–328.

Shionosaki, K., Yamada, F., Ishikawa, T. and Shibata, S. 2015. Feral cat diet and predation on endangered endemic mammals on a biodiversity hot spot (Amami-Ohshima Island, Japan). *Wildl. Res.*, 42: 343–352.

Shoshi, Y., Kazato, K., Maeda, T., Takashima, Y., Watari, Y., Matsumoto, Y., Miyashita, T. and Sanjoba, C. 2020. Prevalence of serum antibodies to *Toxoplasma gondii* in free-ranging cats on Tokunoshima Island, Japan. *J. Vet. Med. Sci.* DOI: 10.1292/jvms.20-0512. Advance online publication.

Tokiwa, T., Yoshimura, H., Hiruma, S., Akahori, Y., Suzuki, A., Ito, K., Yamamoto, M. and Ike, K. 2019. *Toxoplasma gondii* infection in Amami spiny rat on Amami-Oshima Island, Japan. *Int. J. Parasitol. Parasites Wildl.*, 9: 244–247.

Torgerson, P. R., Nilanthi, R de S., Fèvre, E. M., Kasuga, F., Rokni, M. B., Zhou, X.-N., Sripa, B., Gargouri, N., Willingham, A. L. and Stein, C. 2014. The global burden of foodborne parasitic diseases: an update. *Trends Parasitol.*, 30: 20–26.

Wallace, G. D. 1973. Intermediate and transport hosts in the natural history of *Toxoplasma gondii. Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 22: 456–464.

渡邊智美．2015. 母子を守るために当事者だからできること～「トーチの会」の活動～．小児保健研究，74: 815–817.

World Health Organization [WHO]. 2015. Fact sheet-Toxoplasmosis. WHO Estimates of the Global Burden of Foodborne Diseases. [accessed September 30, 2020]. Available from: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0011/294599/Factsheet-Toxoplasmosis-en.pdf

Wolf, A., Cowen, D. and Paige, B. 1939. Human toxoplasmosis: occurrence in infants as an encephalomyelitis verification by transmission to animals. *Science*, 89: 226–227.

Yamada, H., Tanimura, K., Deguchi, M., Tairaku, S., Morizane, M., Uchida, A., Ebina, Y. and Nishikawa, A. 2019. A cohort study of maternal screening for congenital *Toxoplasma gondii* infection: 12 years' experience. *J. Infect. Chemother.*, 25: 427–430.