

生物多様性と人獣共通感染症リスク

東北大学大学院生命科学研究科

河田雅圭

生物多様性は感染症リスクを減少させるのか、増大させるのか？

生物多様性の減少は、生態系がもたらす様々な恩恵（生態系サービス）を減少させることが予測されることから、生物多様性の保全は、SDGs（持続可能な開発目標）でも重要課題とされている。そのような状況の中、新型コロナウイルス感染症の流行は、人間の開発による生態系への影響が原因の一つであるとする論調が多くみられる。野生生物の中で保持されているウイルスなどの病原体が、自然の開発（生物多様性の減少）によって、人間に感染するリスクが増大する、という考えである。

生物多様性と感染症との関係には、二つの側面がある。一つは、生物多様性の増加が、感染性病原体の密度や伝播^{でんぱ}を抑えて感染リスクを減少させるという側面。さらに、生物多様性の高い地域は人間に感染する可能性のある病原体の多様性も高くなり、人間への感染の危険性が高まる（生物多様性のデイスサービス）という側面である。

しかし、この二つの側面も単純にどのような場合でも当てはまるわけではなく、生物多様性と感染症との関係は複雑である。この問題は、国外では、科学的に大きな論争となっており、「生物多様性を保全することで感染症リスクが低下できる」という単純な結論には至っていない。そこで、本稿では、最近出版された生物多様性と感染症との関係をレビューした論文（※1～3）をもとに、この問題について解説したい。

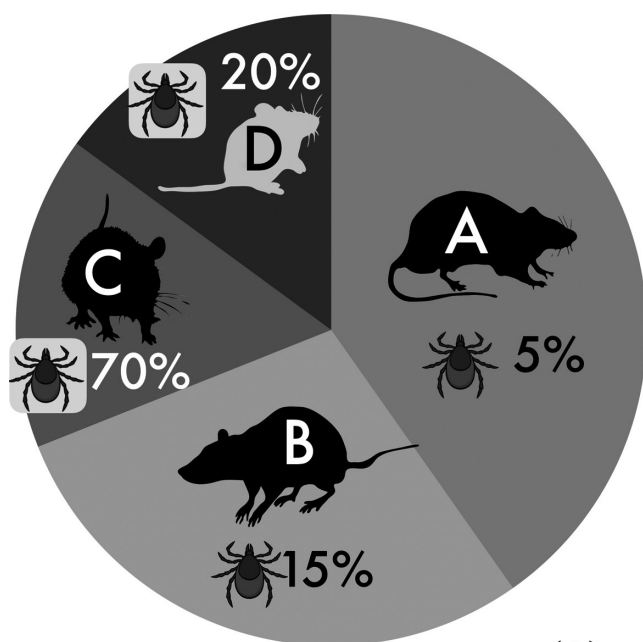
生物多様性の減少と感染症の増加「希釈効果」

「希釈効果（dilution effect）」とは、病原体やベクター（感染症を媒介する生物）に対して宿主の感染率や保有率が異なる場合に、生物群集における種の多様性が高いほど感染症のリスクが減少することという。たとえば、農業では何十年も前から、同じ作物種の異なる品種を植えることで病原体の伝播^{でんぱ}が抑えられることが知られているが、同様に、異なる種を混同することにより病原体による病気が減少することが知られている（※3）。

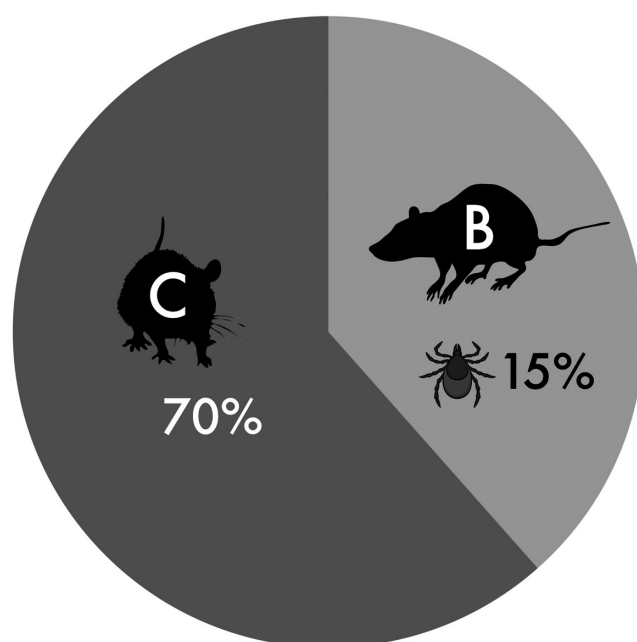
自然界でも、希釈効果の存在が報告され、生物多様性の増加と感染症との負の関係が指摘されるようになった（※1）。たとえば、人間に重篤な症状を引き起こす「住血吸虫」の感染の危険性は、「巻き貝」の種が増えるほど減る。それは住血吸虫の中間宿主となりうる巻き貝の種の数が減り、住血吸虫が感染できない宿主が増えることで、人間への感染確率が減少するからである。また、北米でみられる「ハンタウイルス」は「げっ歯類」が宿主となるが、哺乳類の多様性が高まるほど、ウイルスを保持しない個体の割合が高くなるため、ウイルスの人間への感染確率が低下する（希釈効果の概念図は〈図1〉参照）。

しかし、このような希釈効果が、自然生態系でどれくらい一般的なのかどうかについては論争がある。米国では、この論争は論者を感情的にさせてしまうようで、それは指導教員が学生に希釈効果について研究することを控えさせるほどであるという（※4）。論争の原因の一つは、希釈効果が

宿主の多様性大



宿主の多様性小



 ダニ保有率(%)

図1 希釈効果の概念図。ヒトへ感染するウイルスを保有するダニの宿主（ネズミ）が4種（A～D）存在する。宿主の多様性の高い群集（左図）では、ダニを保有する割合の高いネズミC種の割合は低く抑えられているが（約30%）、宿主の多様性の低い群集では、C種の割合が高く（約60%）、ヒトへの感染リスクが高まる。

どれほど自然界に一般的にみられるか、ということのようである。実際に、希釈効果がみられるかどうかは、感染経路や感染する宿主の分布、感染ステージの数、媒介者の種類や有無などの条件によって左右される。これらの条件によっては、種が増えるほど感染確率が増加する場合（増幅効果）もある。生物多様性と感染症との関係を考えるうえで重要な点は、生物多様性の影響を受けない感染症と影響される感染症を区別することである（※1）。たとえば、宿主以外の生物と相互作用しない病原体は、生物多様性の影響を受けないと考えられる。多くの種類の宿主に寄生する病原体、複雑なライフサイクルをもつ寄生虫や病原体、ベクターを介して感染する病原体などは、生物多様性の変化に最も反応しやすいと予測される（※1）。

そのような病原体で希釈効果がどれくらい一般的なのかどうかについて、メタ解析（複数の研究データを統合して解析する統計手法）をした研究がある。61種の病原体や寄生虫について総合的に解析した研究では、生物多様性と疾病には負の関連性が一般的であった（※5）。とくに人獣共通感染症や野生動物のみ感染している疾病で、生物多様性と感染症の間に負の関係があることが強く示された。一方、Woodruff（※6）は、世界保健機関（WHO）が把握している最も重要な24のヒト感染症のうち、生物多様性の影響を受ける可能性がある11の感染症について検討した。その結果、調査した国全体を通じた解析では、11の感染症のうち五つにおいて、生物多様性が増加すると感染症も増加した。しかし、同一国内で解析すると、七つの感染症では生物多様性増大は感染症減少を引き起こし（統計的に有意なのは一つのみ）、四つの感染症においては、生物多様性増大は感染症増加の傾向を示した（統計的に有意なのは一つのみ）。

これらの結果から、Rohrer（※1）は、調べる空間スケールで、希釈効果の検出が異なってくることを議論してい

る。つまり、希釈効果は、感染や伝播といった生物間の相互作用の程度の違いによって生じる。そのために、希釈効果が観察される空間スケールは、生物が密接に相互作用している群集である必要がある。それに対して、大きなスケールでみたとき、生物多様性が高いほど感染症や寄生虫の出現する確率は高まると指摘している。実際にRohrer（※1）の再解析では、調べる空間スケールが小さくなるほど生物多様性の増大と感染症リスクは負の関係を示した（図2）。

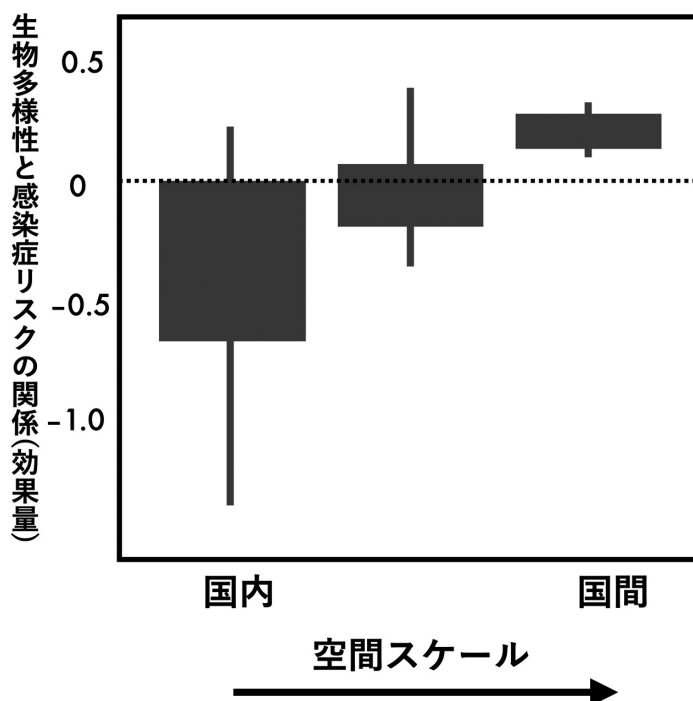


図2 生物多様性が感染症リスクに与える効果と解析した空間スケール。効果が正のときは生物多様性の増加により感染症リスクは増大し、負のときは減少する。Rohr, J.R. et al.（※1）の資料を改変。

人獣共通感染症の病原体の供給源としての生物多様性

Jonesら（※7）は、1940年から2004年の間の人獣共通感染症が発生しやすい場所の解析をした。その結果、野生動物の種多様性が高い場所ほど、野生動物に由来する人獣共通感染症の発生予測が高くなっ

た。

しかし、様々な要因を同時に考慮して、その影響の違いをみると、人口密度の方が、野生動物の種多様性よりも感染症発生により高い影響を及ぼしていた。このことは、人獣感染症の宿主となる野生動物の多様性が高いほど感染症を保持している可能性が高いが、人口密度が高いとそれら野生動物と接触する機会が増大し、人間への感染が増大すると考えられる。

つまり、生物多様性の高い地域での人間の自然への介入は、自然界で保持されている感染症が人間に感染拡大（スピルオーバー）する可能性を増大させるということだ。

人間の自然環境や生物多様性への影響による感染症のスピルオーバーは、単に人間と病原体との接触機会が増大することで生じるだけでない。人間による森林や自然環境の土地利用の変化は、人獣共通感染症の宿主となる種の分布、行動、数などに影響を与え、それにより人間への感染が増加することもあるようだ（※8）。

また、人間の影響を受けている生息地では、受けていない生息地に比べて、人獣共通感染症の宿主となる種の多様性と数が多いということが指摘されている（※9）。つまり、人間の影響を受けた生息地で繁栄している種は、潜在的な病原体の種類と数とともに高く、スピルオーバーの機会をより多く提供しているという（※10）。

ヒトに病気を引き起こす病原体を保持している生物種（リザーバー）は齧歯目、食肉目、偶蹄目において最も多く見られ、人獣共通感染症の最も一般的なリザーバーはネズミ、イヌ、ネコ、ウシ、ブタ、ヒツジ、ヤギなどの家畜であった（※10）。人獣共通感染症の病原体の宿主となる種は、そうでない種に比べて、保全上の懸念が低い（絶滅危惧種や危急種でない）傾向があるようである（※11）。リザーバーとなりうる種の特徴として寿命が短く、生活史が早いことが指摘されている。

免疫には、自然免疫（生まれつき備わっている免疫）と適応（獲得）免疫（病原体に侵入後に獲得される免疫）がある。自然免疫を発達させた生物は獲得免疫が低下したり、あるいは獲得免疫を発達させると自然免疫の機能が低下したりするといったトレードオフの関係にあるといわれ、寿命の短い種は自然免疫をより発達させていることが示唆されている（※12）。そのた

め、寿命の短い種は獲得免疫反応が弱く、免疫が強い宿主と比較して高い感染力の病原体を維持する可能性が高い。それに伴って伝播性も拡大すると考えられている(※2)。

これらのことから、人間による生態系への影響は、人獣共通感染症のリザーバーを増加させる可能性があることが示唆される。

生物多様性保全と感染症リスク対策

生態系や群集を構成している生物種には、病原体や寄生虫、ウイルスなどの寄生生物が含まれているので、生物多様性が高い地域は必然的に感染症の原因となる生物種も増加する。このため広いスケールで比較してみると、生物多様性(種数)と感染症リスクは正の関係が検出されやすくなるだろう。

一方で、局所的にみても、宿主となる生物種の間には病原体の感染率や保持率に差がある場合、相互作用する種が増加するほどその病原体の感染リスクが減少するという希釈効果がみられる傾向がある。希釈効果がみられるかどうかは、その病原体の感染様式や宿主の性質に依存すると示唆されている。

Jonesら(※1)の解析は2004年までのデータであるが、過去約60年の間に大幅に新興感染症が増加していることを示している。KeesingとOstfeld(※2)の主張によれば、人間の影響をつけている生態系ほど、感染症のリザーバーとなる宿主が多く、人間による生態系や生物多様性の改変によって、感染症が人間へスピルオーバーすることにより感染症リスクが増大している可能性が高い。

生物多様性は近年、急激に減少しているといわれている。しかし一方で、局所的な種の数はそのほとんど変化せず、種の構成が変化し、置き換わっていることが示されている(※13)。感染症リスクに関係する生物多様性とは種の数よりも種の構成員の変化が重要であるかもしれず、生物多様性の保全によって感染症リスクを抑えるには、リザーバーとなりうる種の数と個体数を管理する必要がある。

ヒトが1万年前に農耕を開始し、定住によって多くが密集して生活し、家畜などを飼育するようになり、このような感染症の影響は特に大きく

なつたと考えられている(※14)。

さらに現代になって、人間のグローバルな移動や大規模な土地改変が感染症リスクを増大させているといえる。そのような状況のなか、感染症リスクを減少させるためには、公衆衛生学的な感染や伝播の制御、ワクチンや治療薬など医学的対策が中心となると考えられるが、同時に生物多様性を人間がうまく管理することで、感染症のリスクを抑えることができるかもしれない。

【注釈】

- (1) Rohr, J. R., et al. (2020) Towards common ground in the biodiversity-disease debate. *Nature Ecology and Evolution* 4, 24-33.
- (2) Keesing, F., and Ostfeld, R. S. (2021) Impacts of biodiversity and biodiversity loss on zoonotic diseases. *PNAS* 118, e2023540118
- (3) Keesing, F. and Ostfeld, R. S. (2021) Dilution effects in disease ecology. *Ecology Letters* 24, 2490-2505.
- (4) Halsey, S. (2019) DeRuse the dilution effect debate. *Nature Ecology and Evolution* 3, 145-146.
- (5) Civitello, D. J., et al. (2015) Biodiversity inhibits parasites: Broad evidence for the dilution effect. *PNAS* 112, 8667-8671.
- (6) Wood, C. L., et al. (2014) Does biodiversity protect humans against infectious disease? *Ecology* 95, 817-832.
- (7) Jones, K. E., et al. (2008) Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451, 990-993.
- (8) Murray, K. A. and Daszak, P. (2013) Human ecology in pathogenic landscapes: Two hypotheses on how land use change drives viral emergence. *Current Opinion in Virology* 3, 79-83.
- (9) Gibb, R. et al. (2020). Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. *Nature* 584, 398-402.
- (10) Plourde, B. T., et al. (2017) Are disease reservoirs special? Taxonomic and life history characteristics. *PLoS One* 12, e0180716.
- (11) Johnson, C. K., et al. (2020) Global shifts in mammalian population trends reveal key predictors of virus spillover risk. *Proceedings of Royal Society B* 287, 20192736.
- (12) Martin, L. B., et al. (2016) Host competence: An organismal trait to integrate immunology and epidemiology. *Integrative and Comparative Biology* 56, 1225-1237.
- (13) Vaidyanathan, G. (2021) The world's species are playing musical chairs: how will it end? *Nature*, 596, 22-25.
- (14) Wolfe, N. D., et al. (2007) Origins of major human infectious diseases. *Nature* 447, 279-283.