

## —ワンヘルスの実践と今後の可能性 ～動物・人・自然環境(Ⅱ)—

## 森林生態系の減少，劣化と野生動物由来感染症

岡部貴美子<sup>†</sup> (国研森林研究・整備機構森林総合研究所研究専門員)

## はじめに

2022年3月に世界保健機関(WHO)、国連食料農業機関(FAO)、国際獣疫事務局(OIE)からなる tripartite は、国連環境計画(UNEP)と覚書を交わし、ワンヘルスにおける四者協力が正式に始まった。これに先立ち、

2021年5月にはこの四者によるワンヘルス・ハイレベル専門家会合が立ち上げられ、ワンヘルスを「人、動物、生態系の健康を持続的にバランスよく最適化することを目的とした、統合的、統一的なアプローチ」と定義した。UNEPは1972年の発足以来、気候変動、自然、化学物質と汚染などの対策にかかる行動計画を作成し、持続可能な開発において環境に関連する活動を進めてきた。UNEPと tripartite の連携は、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)のパンデミックによって健康及び感染症と環境との関係が再認識され、健康は環境問題の一つであるというメッセージであることとらえることができる。

COVID-19のパンデミックによって国際社会は大きな影響を受けたが、経済的な影響、感染者数の推移、ワクチン等の医療対策には、大きな格差が生まれた。このことが、社会的に wellbeing な状態を指す健康とはどういったものなのかを、改めて考えるきっかけになったといえるだろう。さらに新興感染症の発生を抑制する対策、すなわち病原体の spillover (スピルオーバー=病原体が別の宿主に感染可能になること)抑制と、人への spillover 発生からパンデミックまでの経路の遮断の重要性が明確になった。しかしこのこと自体は決して新しい発見ではなく、HIV/AIDSやSARSでも同様の議論がなされてきた。生物多様性条約事務局はWHOと共同で、COVID-19のパンデミック以前に、生物多様性と人の健康についてのレビューを発表している[1]。気候変動枠組み条約もまた、人の健康に対する気候変動のさまざまな影響についてアセスメントを行い、多くの分野の連携による対策の重要性を指摘した[2]。人の感染

症については人以外の動物との共通性の認識が必須であることは、19世紀の人獣共通感染症の理解の始まり、20世紀の“One Medicine”にもみられる通り、既に長く理解されている。これらのことから、新興感染症発生抑制における環境保全の役割について、より具体的に分析できる基盤は整っているといえる。次のパンデミックを起こさないために、そしてよりよい社会を構築してゆくために、私たちはあらためて環境対策において何が不足していたのか、環境の健全性と人や人以外の動物の健康の専門家とが、どのように連携すれば解決策を導き出せるかについて、真剣に考える必要がある。そこで本稿では、ワンヘルスの中でも現在特に関心が寄せられる感染症に着目し、人の感染症を中心に置くことで、特に生態系の視点から人—動物—生態系のつながりについて考察し、最後により広いスコープのワンヘルスについても議論する。

## 野生動物由来の病原体 spillover の要因

病原体がある宿主から別の宿主に感染可能になることを spillover と呼ぶが、最近の遺伝学的研究では、家畜が自然宿主である野生動物と人との感染環をつなぐ役割を果たしてきたことが示唆された[3]。新興感染症の発生に対して日本では、しばしば“野生動物と人との距離が近くなったことが原因”と言われるが、spillover は疫学の知見に基づき確率的に発生する事象として説明可能であることから[4, 5]、野生動物との物理的な距離というよりは病原体と人との接触頻度の上昇であることを踏まえて、原因と対策を検討すべきである。たとえば人と野生動物の接触機会が増えなくても、家畜に spillover が起こって人への新規感染が起こるマレーシアのニパウイルス感染症のような事例も知られる[6]。加えて現代のように人の移動や物流がグローバル化すると、他地域で人に spillover を起こした病原体が、野生動物から遠く離れて暮らす大都市の人々に容易に到達しうる[7]。この場合、都市の人々と野生動物との物理的な距離が近づいたわけではなく、人と人との距離がこれ

<sup>†</sup> 連絡責任者：岡部貴美子 (国研森林研究・整備機構森林総合研究所)

〒305-8687 つくば市松の里1 ☎029-829-8328 FAX 029-873-3797 E-mail: kimikook@ffpri.affrc.go.jp

までになく近づくことで、パンデミックに至ることが推測できる。また“かつてのように適切な距離が保たれていた時代”という考えもあるようだが、そのような理想的な状態も、時代も検証されていない。たとえば江戸時代には動物の肉が常食されなかったものの、現代同様に農民は獣害に喘いでおり、むしろ野生動物は身近な存在だった。牛馬は役畜として重要であり、これらの動物が野生動物から人への spillover の経路にもなりえた。さまざまな国々で、開拓や開発途上において野生動物との軋轢が記録されている。より遡った狩猟採集時代には、人は小さな集団で狩猟をして重要なたんばく源を得ていたが、徐々に野生動物の家畜化も始まった。このような時代に野生動物の痕跡のない場所で暮らすことの方が、困難であったに違いない。これらのことから想像できるのは、①近年、野生動物から人への病原体 spillover が増加した可能性や、②過去にも人への spillover は生じていたが、人と人の接触頻度が低かったために新興感染症は地域の小さなアウトブレイクで終息して他地域に知られることがなく、ましてやパンデミックに至ることは極めて少なかった可能性などである。②については、都市化の進行やグローバルな人や物の移動の促進という現状から、容易に理解可能である。一方、①については、土地利用変化に基づく自然生態系の減少や劣化、家畜の飼育の拡大との関係が明らかになりつつある。

比較的広域な地域スケールやグローバルな解析から、森林のかく乱や減少、人口密度、土地利用変化（畜産を含む農業利用など）、野生動物の多様性、気候変動、都市化などが野生動物由来の感染症の新たな発生における普遍的な駆動要因であることが明らかにされている [8-11]。森林の伐採による減少や過度な利用などによるかく乱及び人口密度は、新興感染症（種類、頻度、発生面積など）と正の相関を示す一方で、利用無から生態系の改変に至るまでの土地利用変化、野生動物種の多様性、気候変動は spillover の強力な説明要因ではあるが、相互関係は線形ではない [10]。疫学的に人口密度という要因は説明しやすいが、ほかの要因については要因間の相互関係があったり、メカニズムが証明できなかったりするため、単純な理解は難しいかもしれない。このような複雑さが、環境問題としての解決を難しくしている側面がありうることから、生態学と病理学、疫学等の連携によって生態系や生物多様性と感染症発生のメカニズムやプロセスを明らかにし、対策に貢献するエビデンスを示してゆく必要がある。

#### 野生動物由来感染症と生物多様性の関係

自然生態系は、人にとって不可欠な社会の基盤である。人間は生態系サービスや自然がもたらすもの (Nature's contributions to people : NCP) によって生

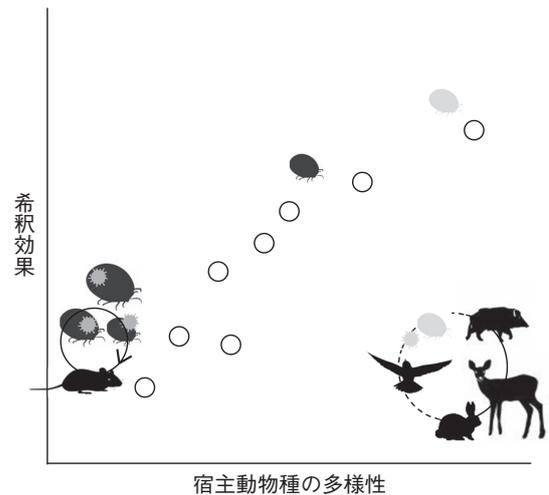


図 野生動物・マダニの種多様性や密度と感染症との関係

きている。生態系サービスは食料、水、原材料などをもたらす供給サービス、気候調整、災害緩和、花粉媒介などの調整サービス、生息・生育地の提供や遺伝的多様性の維持などの生息・生育地サービス、レクリエーションや芸術的インスピレーションの提供などの文化的サービスなどに分類される [12]。感染症の生物的制御は調整サービスの一つと位置付けられ、生物多様性との関連が強いと考えられてきた [13, 14]。このことは生物多様性、特に宿主の種多様性が高い（種数が多い）ことにより、病原体がある特定の生物（ある作物種、人など）に到達するリスクが低下するという、希釈効果 (dilution effect) という仮説で説明される (図) [15]。ある病原体について考えた場合、宿主の種ごとに感染しやすさが異なる、あるいは spillover の起こりやすさが異なるはずなので、宿主数が多くなればなるほど不適當な宿主が病原体の分布拡大を阻む障壁となり（つまり有病率が希釈され）、spillover や感染拡大が起こりにくくなるという仮説である。この仮説は図のように単純に説明でき、またシンプルな数理モデルで概念を説明できて [16] 生物多様性保全の必要性を説明する強力なツールになりうることから、保全の目的としてしばしば使われている [17, 18]。

一方で希釈効果への反論の多くは、動物宿主の種の数と感染症の発生との間に必ずしも明確な相関が認められないという事実に基づく [19]。希釈効果という仮説はマラリアやマダニが媒介するライム病に関して提案され、他の野生動物由来感染症についても検討された [15, 19]。しかし野生動物の種数と、好適な宿主の密度が高いのか低いのかは必ずしも関係がなく、媒介生物の存在など野生動物由来感染症における生物・生態学的背景はさまざまであり、宿主の多様性による制御を網羅的に証明することは困難だった。また解析における生物多様性の解釈もさまざまで、宿主以外の種多様性、生態系の多

様性、密度を考慮した多様性指数など異なる尺度を用いて分析されたことも、希釈効果が見いだされなかった理由かもしれない [19]。これまでにライム病やキャシヤヌール森林熱などのいくつかのマダニ媒介感染症について、マダニの増殖に好適な宿主が、病原体を増幅させないもののは感染拡大に貢献することが知られている [19, 20]。最近の生態学的視点の研究からは、宿主の種数だけでなく密度や個体数及び媒介生物を含めた有病率が重要で、宿主の個体群動態にかかる餌植物などを含めた生物間相互作用もまた、感染リスクに関連する重要な要素であることが議論されている [21]。疫学的視点からは宿主の個体数よりも密度が重要なことから、特定の種が密になるような環境要因を明らかにし、生態系管理を進めることが有効だろう。その要因の一つとして、森林を含めた野生動物によって重要な生息場所の分断化や生息可能な面積の縮小の重要性が指摘されている [22]。

野生動物種が多いほど寄生する微生物やウイルスの種類が多くなるため、潜在的なリスクが高いことも予想されている。Allen ら [10] の解析では、野生の哺乳類の多様性が非常に高いことと低いことは、新興感染症の発生をよりよく説明することがわかった。しかし線形の関係ではないので、多様性が高ければ新興感染症リスクが高いとも、低いともいい切れない。生物多様性のホットスポットと、感染症のホットスポットとの地理的な重なりは大きいようであることから、生物多様性が高い地域での土地利用変化、すなわち生態系のかく乱が spillover と関連することは間違いないだろう。複雑なメカニズムには未解明の部分を含むものの、近年の生態学的研究によってもかく乱の重要性が指摘されている。Pathogeography という、新興感染症発生とそれに関連する生態系や社会システムの地理情報を統合的に分析する手法を用いることで、中央～西アフリカのエボラ出血熱の発生は、発生地及び周辺での 2 年以内の成熟林（林冠が閉鎖している森林）の森林減少と強く関係していることが明らかになった [23]。エボラ出血熱は人から人へと感染可能なため人口密度とも中程度の相関があるが、森林減少の方が説明力が強かった。また森林や農地、家畜や人口密度の地理的な分布情報を用いて、SARS ウイルスの宿主として知られるコウモリ類の生息への影響を評価した結果、森林の分断化、家畜や人口の集中が強い影響力を持つ要因であることが明らかとなった [24]。このような地理情報を用いた空間統計学的な解析は生態学の得意とするところであり、医学、獣医学的な研究と連携することで、感染症のメカニズムやプロセスを明らかにしつつ有効な対策の構築が期待できる。

### 生態系保全とワンヘルス

生態系を基盤とした気候変動対策と生物多様性保全の

間には、トレードオフがあることが知られている。また野生動物の保護や保全の効果が、人の健康への負の影響として顕在化することもある。北海道ではヒグマ個体群の保全と、これとは別に都市及び周辺の緑地保全が進められてきたが、ヒグマの都市への出没、人の襲撃という事例が発生している。野生動物の保全による個体数増加や、都市緑化が進み森林地帯との連結性が増したこと等により、緑地帯というコリドーを利用する野生個体が増えたことが予想されている [25]。海外では生態系の保全に伴い、大型のあるいは捕食性の野生動物と人との軋轢がしばしば問題となっており、保全計画と生態系利用や改変にかかる活動との間で事前調整が必要であることが明確になった [26]。また再植林による森林生態系の増加が特定の野生動物の密度増加を引き起こし、野生動物由来感染症の増加につながる可能性もある [27]。生息地保全にあたっては、できる限り事前に野生生物の密度管理についても検討すべきであり、その中に健康の視点を取り入れる必要がある。

多くの環境問題を生んできたのは人であり、人が社会のあり方を検討し、よりよく変えていこうとしない限り問題は解決しない。人の健康、動物の衛生、生態系の健全性には、それぞれ専門家が取り組んできたが、もはや連携なしに解決することは不可能だろう。特に相互の関係性は、全く異なる視点で評価しなければ、有効な議論もできない。ブラジル・アマゾンの森林減少とマラリアに関する分析から、皆伐によってマラリアは顕著に増加したが、マラリアが増加したことによって森林伐採が減り森林減少に歯止めがかかるという事象が明らかになった [28]。前者は生態学的に説明可能である一方、後者は社会・経済的な要因による変化であり、生態学あるいは医学的に解明できない。このような事実が明らかになることで、複数の利害関係者が同じテーブルについて持続可能な森林管理と持続可能な経営について議論することが期待される。また違法伐採がやまないインドネシア、東カリマンタンでは、NPO による住民調査から、医療アクセスの向上への期待が大きいことが分かった。そこで医療機関への交通手段などを支援したところ、住民の健康が向上しただけでなく、就業機会が向上するなどして違法伐採が顕著に減少した [29]。伐採を違法とする政策だけでは対処できなかった生態系の健全性の向上に、人の健康対策との連携が効果的であり、シナジー効果が生まれた一例である。

ここまで述べてきたように生態系の健全性と、動物や人の健康は強くリンクしている。しかしながらこのことを念頭に置いた政策や制度は、現状十分とはいえない。生物多様性条約に加盟する多くの国は、国家戦略を策定し目標に向けた活動を実施しているものの、環境保全を管轄する省庁と健康にかかる省庁との連携は常に十

分というわけではない。また人の健康のうち、社会的に wellbeing な状態についての議論は、生態学の分野ではほとんど行われていない。ワンヘルスにおいて人の健康を広くとらえ、生態学、社会科学的な視点を含めた学際的かつ包括的な取組みを進めることが必要である。

本研究は、(株)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF20204005)、科研費 (20H00652) 及び人間文化研究機構総合地球環境学研究所の予備研究 (プロジェクト等番号 14200158) によって実施された。

## 参 考 文 献

- [1] Romanelli C, Cooper D, Campbell-Lendrum D, Maiero M, Karesh WB, Hunter D, Golden CD : Connecting global priorities: biodiversity and human health: a state of knowledge review, Geneva, WHO, UNEP, Secretariat of the CBD (2015), (<https://www.cbd.int/health/SOK-biodiversity-en.pdf>), (accessed 2022-4-28)
- [2] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) : Human health and adaptation: understanding climate impacts on health and opportunities for action (2017), (<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2017/sbsta/eng/02.pdf>), (accessed 2022-4-28)
- [3] Johnson CK, Hitchens PL, Pandit PS, Rushmore J, Evans TS, Young CCW, Doyle MM : Global shifts in mammalian population trends reveal key predictors of virus spillover risk, *P Roy Soc B*, 287, 20192736 (2020), (DOI: 10.1098/rspb.2019.2736), (accessed 2022-5-6)
- [4] Lloyd-Smith JO, George D, Pepin KM, Pitzer VE, Pulliam JRC, Dobson AP, Hudson PJ, Grenfell BT, Dobson AP, Hudson PJ, Grenfell BT : Epidemic dynamics at the human-animal interface, *Science*, 326, 1362-1368 (2009)
- [5] Sokolow SH, Nova N, Pepin KM, Peel AJ, Pulliam JRC, Manlove K, Cross PC, Becker DJ, Plowright RK, McCallum H, De Leo GA : Ecological interventions to prevent and manage zoonotic pathogen spillover, *Phil Trans R Soc B*, 374, 20180342 (2019)
- [6] Daszak P, Plowright RK, Epstein JH, Pulliam J, Rahman SA, Field HE, Jamaluddin A, Sharifah SH, Smith CS, Olival KJ, Luby S, Halpin K, Hyatt AD, Cunningham AA : The emergence of Nipah and Hendra virus: pathogen dynamics across a wildlife-livestock-human continuum, In *Disease Ecology: Community structure and pathogen dynamics*, Collinge SK, Ray C eds, 186-201 (2006), Oxford Scholarship Online, (DOI: 10.1093/acprof:oso/9780198567080.001.0001), (accessed 2022-4-28)
- [7] Tatem AJ, Rogers DJ, Hay SI : Global transport networks and infectious disease spread, *Advances Parasitol*, 62, 293-343 (2006)
- [8] Patz JA, Daszak P, Tabor GM, Aguirre AA, Pearl M, Epstein J, Wolfe ND, Kilpatrick AM, Foutopoulos J, Molyneux D, Bradley DJ : Unhealthy landscapes: policy recommendations on land use change and infectious disease emergence, *Environ Health Perspect*, 112, 1092-1098 (2004)
- [9] Kilpatrick AM, Randolph SE : Drivers, dynamics, and control of emerging vector-borne zoonotic diseases, *Lancet*, 380, 1946-1955 (2012)
- [10] Allen T, Murray KA, Zambrana-Torrel C, Morse SS, Rondinini C, Marco MD, Breit N, Olival KJ, Daszak P : Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases, *Nat Commun*, 8, 1124 (2017), (10.1038/s41467-017-00923-8), (accessed 2022-2-5)
- [11] Plowright RK, Reaser JK, Locke H, Woodley SJ, Patz JA, Becker DJ, Oppler G, Hudson PJ, Tabor GM : Land use-induced spillover: a call to action to safeguard environmental, animal, and human health, *Lancet Planet Health*, 5, e237-245 (2021)
- [12] TEEB (The Economics of Ecosystems & Biodiversity) (2010) : The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB, (<http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Reports/Synthesis%20report/TEEB%20Synthesis%20Report%202010.pdf>), (Accessed 2022-4-28)
- [13] Kremen C : Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology?, *Ecol Lett*, 8, 468-479 (2005)
- [14] Dobson A, Lodge D, Alder J, Cumming GS, Keymer J, McGlade J, Mooney H, Rusak JA, Sala O, Wolters V, Wall D, Winfree R, Xenopoulos MA : Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services, *Ecology*, 87, 1915-1924 (2006)
- [15] Ostfeld RS, Keesing F : The function of biodiversity in the ecology of vector-borne zoonotic diseases, *Can J Zool*, 78, 2061-2078 (2000)
- [16] Schmidt KA, Ostfeld RS : Biodiversity and the dilution effect in disease ecology, *Ecology*, 82, 609-619 (2001)
- [17] Pongsiri MJ, Roman J : Examining the links between biodiversity and human health: an interdisciplinary research initiative at the U.S.Environmental Protection Agency, *EcoHealth*, 4, 82-85 (2007)
- [18] Civitello DJ, Cohen J, Fatima H, Halstead NT, Liriano J, McMahon TA, Ortega CN, Sauer EL, Sehgal T, Young S, Rohr JR : Biodiversity inhibits parasites: broad evidence for the dilution effect, *Proc Natl Acad Sci USA*, 112, 8667-8671 (2015)
- [19] Randolph SE, Dobson ADM : Pangloss revisited: a critique of the dilution effect and the biodiversity-buffers-disease paradigm, *Parasitology*, 139, 847-863 (2012)
- [20] Ogden NH, Tsao JI : Biodiversity and Lyme disease: dilution or amplification?, *Epidemics*, 1, 196-206 (2009)
- [21] Ostfeld RS, Levi T, Keesing F, Oggenfuss K, Canham CD : Tick-borne disease risk in a forest food web, *Ecology*, 99, 1562-1573 (2018)
- [22] Wilkinson DA, Marshall JC, French NP, Hayman DTS :

- Habitat fragmentation, biodiversity loss and the risk of novel infectious disease emergence, *J Roy Soc Interface*, 15, 20180403 (2018), (DOI: 10.1098/rsif.2018.0403), (accessed 2022-5-5)
- [23] Olivero J, Fa JE, Real R, Márquez AL, Farfán MA, Vargas JM, Gaveau D, Salim MA, Park D, Suter J, King S, Leendertz SA, Sheil D, Nasi R : Recent loss of closed forests is associated with Ebola virus disease outbreaks, *Sci Rep*, 7, 14291 (2017), (DOI: 10.1038/s41598-017-14727-9), (accessed 2022-5-5)
- [24] Rulli MC, D'Odorico P, Galli N, Hayman DYS : Land-use change and the livestock revolution increase the risk of zoonotic coronavirus transmission from rhinolophid bats, *Nature Food*, 2, 409-416 (2021)
- [25] 佐藤善和 : アーバン・ベア : とよりのヒグマと向き合う, 270, 東京大学出版会, 東京 (2021)
- [26] Treves A, Wallace RB, Naughton-Treves L, Morales A : Co-managing human-wildlife conflicts, *Hum Dimens Wildl*, 11, 383-396 (2006)
- [27] Morand S, Lajaunie C : Outbreaks of vector-borne and zoonotic diseases are associated with changes in forest cover and oil palm expansion at global scale, *Front Vet Sci*, 8, Article 661063 (2021), (DOI: 10.3389/fvets.2021.661063), (accessed 2022-4-28)
- [28] MacDonald AJ, Mordecai EA : Amazon deforestation drives malaria transmission, and malaria burden reduces forest clearing, *Proc Natl Acad Sci USA*, 116, 22212-22218 (2019)
- [29] Jones IA, MacDonald AJ, Hopkins SR, Lund AJ, Liu ZYC, Fawzi NI, Purba MP, Fankhauser K, Chamberlin AJ, Nirmala M, Blundell AG, Emerson A, Jennings J, Gaffikin L, Barry M, Lopez-Carr D, Webb K, De Leo GA, Sokolow SH : Improving rural health care reduces illegal logging and conserves carbon in a tropical forest, *Proc Natl Acad Sci USA*, 117, 28515-28524 (2020)