



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Pathogen transmission models in clonal plant population : Analysis on the effects of superinfection and seed reproduction [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	酒井, 佑模
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第12487号
Issue Date	2016-12-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/64729
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuma_Sakai_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士 (環境科学)

氏 名 酒井 佑槇

学 位 論 文 題 名

Pathogen transmission models in clonal plant population

-Analysis on the effects of superinfection and seed reproduction-

(クローナル植物個体群における病原体伝染モデル-重複感染と種子繁殖が与える影響の解析-)

多くのクローナル植物は栄養繁殖と種子繁殖二つの繁殖様式を持つ。栄養繁殖で産まれた個体は、親株との物理的なつながり(地下茎など)を通して栄養素の共有などができるため死亡率が下がる。しかし、そのつながりは病原体が個体群に侵入してきた場合には病原体の伝染を手助けしてしまう可能性がある。一方で、種子繁殖によって産まれた個体は他の個体との物理的なつながりを持たないため、死亡率は高くなるが病原体の伝染リスクは下がる。つまり、種子繁殖は病原体の伝染に対して有効な防御行動であると考えられ、植物は栄養繁殖と種子繁殖のバランスを調整することで病気の流行を防ぐことができていると考えられる。

一方、病原体は寄生する植物に合わせた毒性の選択や重複感染(superinfection)と呼ばれる行動によって植物個体群の中での適応度を上げていると考えられる。重複感染とは、すでに病原体が感染している個体に異なる病原体が感染する事象である。それにより、病原体の感染先が増えるため適応度を上げることができる。ようするに、病原体は重複感染により適応度を上げ、植物は種子繁殖と栄養繁殖のバランスを調整することで適応度を上げていると考えられる。そこで、重複感染と種子繁殖それぞれの事象に着目した数理モデルを構築し解析することにより植物個体群における病原体の進化と、病原体に対する植物の繁殖様式の最適バランスを調べる。

解析に用いるモデルはTwo-stage contact processと呼ばれる数理モデルを基に構築する。このモデルでは、グラフの各頂点が空地、健康、病気のいずれかの状態をとり、その状態が時間とともに変化する。つまり、植物の繁殖過程と病原体の伝播過程を同時に表現することができる。しかし、Two-stage contact processを解くことは非常に困難である。そこで、平均場近似とペア近似と呼ばれる2つの近似手法を用いて数学的な解析を行った。さらに、Monte Carlo simulationの結果と比較することで各近似手法の有用性や空間構造の与える影響を調べる。

Chapter 2 では、モデルの解析を通して重複感染や植物の繁殖力が病原体の遺伝的多様性に与える影響や、毒性の進化について議論する。まず初めに、簡単なモデル(1-strain mo

del)に対して平均場近似とペア近似を適用し、解析を行うことで病原体伝染と植物繁殖の基礎的な関係性を導く。次に数値シミュレーションを用いて数種類の病原体が存在するモデル(multiple-strain model)を解析することで、重複感染の効果について調べる。結果として、(i) 植物の繁殖力が高い時には毒性の高い(または感染力の低い)個体が優位となる。(ii) 病原体の各タイプが共存する時、各タイプ間での競争が続く。(iii) 植物の繁殖力が高い時、病原体伝染の影響で植物個体群は小さくなっていく。(iv) 病原体は重複感染率が小さいほど遺伝的多様性を維持しやすくなる。しかし、重複感染をしない場合にはその維持は難しくなる。(v) 植物の繁殖力が低い時空間構造の与える影響が大きくなると考えられる。以上の結果から、重複感染は病原体の遺伝的多様性の維持において重要な役割を果たしていると考えられる。

Chapter 3では、病原体伝染に対する防御行動としての種子繁殖の有効性、特に離れた場所へ繁殖できるという種子繁殖の特徴に着目して議論すると共に、繁殖様式(種子繁殖と栄養繁殖)の最適なバランスについて調べる。まず初めに、1種の植物のみが存在する場合でのモデル(single population model)に対して平均場近似とペア近似を用いた解析を行い、防御行動としての種子繁殖の効果について調べる。次に、繁殖様式の割合が異なる個体が共存している空間を想定したモデル(mixed population model)を解析することで、繁殖力や病原体伝染の影響を調べる。特に、病原体に感染していない個体群(Uninfected population)と感染している個体群(Infected population)での結果を比較することで、病原体伝染に対する防御行動としての種子繁殖の効果について議論する。結果として、single populationにおいては種子繁殖によってもたらされる離れた場所に繁殖するという現象は、病原体伝染に対する防御行動としては有効ではないことが分かった。しかし、mixed population においては、病原体に感染した場合には病原体の感染力によって最適なバランスが変化することが分かった。特に、感染力の高い病原体が侵入してきた時には、種子による繁殖が病原体伝染に対する有効な防御手段になることが分かった。

Chapter 4では、2つのモデルの結果から重複感染が繁殖様式のバランスに与える影響について予測する。例えば、病原体が重複感染しない場合、植物の繁殖力が高いほど高い感染力を持つ病原体が優位となる。一方、高い感染力を持つ病原体が個体群に侵入してきた場合、植物は種子繁殖を増やすことによって病気の流行を防ぐ。ここで、種子繁殖を増やすということは重複感染モデルにおける繁殖力の低下と同じ効果を持つと考えられる。ようするに、植物が種子繁殖を増やすことで低い感染力を持つ個体が優位となる。よって、植物は繁殖様式のバランスを調整することにより病気の流行を防ぐことができていると考えられる。一方で、病原体が重複感染をする場合には、植物の繁殖力が高い時に感染力の低い病原体が優位となる。つまり、植物が病原体の低い毒性に対応して種子繁殖の割合を増やしても病気の拡散を防ぐことができないと予想される。すなわち、病原体が重複感染を行う場合には繁殖様式の最適なバランスは中間の値をとるのではないかと予想されるが、その解析は今後の課題である。