

数理生態学における Sensitivity Analysis 理論発展の今後の展望

Perspective on Development of Sensitivity Analysis Theories in Mathematical Ecology

中島久男

立命館大学理工学部物理科学科

Hisao Nakajima

Department of Physics, Ritsumeikan University, Kusatsu 525-8577 JAPAN

nakajima@se.ritsumei.ac.jp

“Indirect Effects” are very important concept to understanding the final results of bio-manipulation in ecosystems or ecological communities. A mathematical framework has been established to estimate the indirect effects¹⁾⁴⁾. Many ecologists are thinking that there is a positive correlation between species diversity and stability^{5),6)}, though a mathematical negative result has been induced from random matrix theory⁷⁾. Recently, it was shown that foraging adaptation makes positive correlation between species diversity and stability, by computer simulation of food webs^{8),9)}. This result will be understood in the context of “Indirect Effects”: a balance of indirect effects makes ecological stabilities. It is another very interesting problem whether all self-components of indirect effects are positive in stable ecosystems.

生態系や群集において多くの生物種が共存している場合、生物種間の直接的な相互作用のネットワークは、全体としては網の目のように広がっていたとしても、1生物種が影響を及ぼしている生物種の数は全体の種数と比べてかなり小さなものとなっている。しかしながら、直接的な相互作用を持たない2種間において、他の種を介した間接的な影響が存在することが考えられ、間接的相互作用は系内の全生物種間に存在するものと考えることができる。たとえば、害虫防除で予期せぬ結果が起こる場合が多いのであるが、これは間接作用を考慮すると理解できる場合がある。このような間接作用の1つの評価法についての数学的な枠組みがこれまでに作られている¹⁾⁻⁴⁾。間接効果を考慮した場合、生態系に関する知見が深まる例は、上に挙げた害虫防除の例があるが³⁾、それ以外に今後の発展として、つぎのような可能性が考えられる：(1)生物群集の種多様性と安定性との関連、(2)力学的安定性とは異なった新たな安定性概念の可能性。

古くから生物群集の種多様性と安定性との間には正の相関があると主張されていた^{5),6)}。しかしながら一方、これら2つの事柄には負の相関があるということが、ランダム行列の理論から導かれた⁷⁾。最近、食物網において捕食の柔軟性がある場合には、生物群集の種多様性と安定性との間には正の相関があることが、コンピュータによる数値シミュレーションによって確かめられている^{8),9)}。この数理モデルは、被食者の密度に応じて捕食者の捕食選択を適応的に変化することができるもので、それぞれの生物種の密度変化を持続しながら多種の生物が存続し続ける、いわゆる動的共存が実現される系となっている。

このような系における種多様性と安定性との間の相関を理解するためには、直接的な捕食の強さだけでは理解することが出来ず、間接的な相互作用のある種のバランスでも説明がつくものと予想される。このとき、捕食選択の度合いが時間とともに変化することから間接作用の大きさも時間とともに変化することになる。その際の間接作用のバランスというものをどのように考えたら良いのかは、今後の大きな課題となるが、これを乗り越えることによって、種多様性と安定性との関係を飛躍的に深く理解することができるのではないと思われる。

第2の可能性は、新たな安定性に関連した問題である。間接作用のうち、自分自身に戻ってくるものは負の値であってはならない。たとえば、もしそうでないとすると、魚の漁獲率を増やせば増やすほど、魚の現存量が増加するということになり、そのようなことはあり得ないはずである。もし、そのようなことが起ったとしても一時的な現象であろう。このように、自分自身への間接作用が正であるということは、何らかの安定性と関連があると思われ、この問題点の解明は新たな突破口を開くものと思われる。

1) Yodzis, P. (1988) *Ecology* 69: 508-515. 2) Nakajima, H. (1992) *Ecol. Modell.* 62: 123-133. 3) Higashi, M. & H. Nakajima (1995) *Math. Biosci.* 130: 99-128. 4) Nakajima, H. & M. Higashi (1995) *Math. Biosci.* 130: 129-150. 5) MacArthur R. H. (1955) *Ecology* 36: 533-536. 6) Elton, C. S. (1958) *The ecology of invasions by animals and plants*. Chapman and Hall, London. 7) May, R. M. (1971) *Math. Biosci.* 12: 59-79. 8) Kondoh, M. (2003) *Science* 299: 1388-1391. 9) Kondoh, M. (2003) *Science* 301: 918 c.