

地球システムにおける生命圏の応答特性

Response Characteristics of Biosphere in Earth System

茅根 創[1]

Hajime Kayanne[1]

[1] 東京大・理・地球惑星

[1] Earth & Planetary Sci., Univ. Tokyo

<http://www-geo.eps.s.u-tokyo.ac.jp/kayanne/index.htm>

地球システムに生命圏を組み込むと、そのふるまいを予測することはとたんに難しくなる。これはなぜだろうか。本講演では、力学系と生物の特性との比較から、いくつかの例をあげてこの問題を考えてみたい。

まずいえることは、生命圏の応答が多くの場合、非線形だということである。非線形の応答からなるフィードバックでは、一般的な解を求めることがほとんどの場合できない。また、フィードバックに関わる要因が複雑で、生物のコンパートメントの応答を規定する要因のすべてが多くの場合明らかになっていないことが、解析と予測を困難にしている。ごく微小（微量）な入力値の変化が、大きな応答の変化をもたらすことも多い。さらに、生命圏に関わるコンパートメントの出現と消滅は、生物の増殖によって規定される。増殖はしばしば幾何級数的（ねずみ算式）に起こるから、ある環境条件下である生物のコンパートメントが急激に増殖することがある。初期条件のほんの少しの違いによって増殖するかどうかが変わってしまうため、その予測は困難である。さらに増殖を規定する要因は、物理環境と単純に対応しているわけではない。繁殖には季節性があるから、ある特定の季節の条件が増殖のトリガーになっている。平均的な物理条件だけでモデルを建てようとするとは必ず失敗する。

しかしながら、上にあげたような特性は力学系でも起こり得る。非線形力学系に関する理解が進み、その解析技術は格段に進んでいる。フィードバックループや増殖過程がいくら複雑であっても、それらをすべてリストアップすれば予測は（理屈の上では）可能なはずである。実際、最近の生態系モデルでは、こうした条件をクリアして現実に近いモデルを組み立てて予測を行っている。

生物の応答予測が困難、もしかするとほとんど不可能でないかと思われる理由がある。それは生物の応答関数自身が、順化（acclimatization）、適応（adaptation）、進化（evolution）などによって変わってしまうことである。環境の変化に対して、生理的特性を変化させて対応するのが順化である。さらに、遺伝型や共生する生物の組み合わせを変えて変化するのが適応である。このように、応答関数自体が環境に対応して順化することは、一定の関数に従って入力と出力を決定するモデルでは予測しがたい。さらに生物は、種自身を変えてしまうことがある。これが進化（evolution）である。地球環境の変化に伴って、生物も進化し、地球環境の変化に自らも関わってきたことが理解され、地球環境 - 生命圏の共進化と呼ばれる。しかし環境条件がどのように変化すると生物の進化が起こるかを予測することはほとんど不可能だろう。

生命圏がもっている非線形性や複雑なフィードバックループ、順化・適応・進化といった特性は、外部環境の変動に対する生命圏の変動を緩和する機能をもっている。変化する環境に対して、応答を頭打ちにしたり、時には応答関数自身を変えてしまうことによって、出力を一定に保とうとするのである。複雑なフィードバックループは、特定のループの暴走を他のループによって抑制する効果がある。しかし、こうした緩和効果も環境変化の一定限度までで、環境の変化があるしきい値をこえると一気に生態系全体に変化が現れてしまうという問題がある。進化は、生命圏が環境変化に対応する究極の応答関数の変化であるが、その裏返しには変化に対応できず絶滅した種がいることを忘れてはならない。