

はしがき

まず断わっておきたいのは、この本は物理屋のみた生態学の一面(数理生態学)の、そのまた特殊面(“生態拡散”)を扱っているということである。そもそも、生態学を「自然の構造と機能を研究する学」と定義すれば、それは主役である生物をはじめとして、自然をあらゆる分野から探究する必要がある。

遠くエジプト・ギリシアの文化にさかのぼらなくても、少なくともルネッサンスの栄光の中では、多くの科学者は自然哲学者であり、自然を研究する態度において、すでに生態学の真義を身につけていたといえる。しかし、その後の科学の急速な発展は、必然的に細分化を促し、科学者は相互に恐ろしく疎遠になってしまった。専門語はまるで外国語のように難解になり、たとえば、物理学者と生物学者とが共通の言葉で話せる題目はだんだん少なくなり、自分の狭い世界に閉じこもる以外に途がなくなってきた。もちろん専門化は必要で、それなくしては科学の進歩はありえないが、“人類も自然の一部である”ことを忘れさせるほどの学問の偏狭化は危険な要素を含んでいる。

幸か不幸か、公害問題は、科学者だけでなく、広く一般に生態学への再認識を呼び起こした。そして生物学者を中心に、ほとんどあらゆる分野の人人が協力して、人類を含む自然の存亡をかけて“生態学をする”時期がやってきたのは、ある意味ではよいことであろう。

筆者は永い間、環境流体内の物理拡散の研究に従事してきたが、花粉の空中輸送や、水中プランクトンの分布は、物理拡散の問題であるばかりでなく、動物個体や個体群の動き(分散)の中にも、物理拡散と似た要素があることに気がつきはじめた。そして、「分散という題目は、生物学的な面だけでなく、心理学、物理学、化学、気象学、海洋学などの立場から研究できる広大な分

野である」という Elton (1966) の言葉に励まされて、私の興味はしだいに無機物から生態系全体へと“拡散”していった。私の夢は、生態系内の“万物の流転”を汎拡散という立場から数理的に究明することであるが、支配する原理や、プロセスは余りにも複雑で、生涯かけても、とてもその根本に到達できそうもないことを認めざるをえない。

いま生態学ブームの波に乗って、思いがけずもこの本を書くチャンスを与えられたが、生態学における拡散の問題は、まだまとまった本として体系づける段階に至っていないことを読者にわかってもらわなくてはならない。ただし、何人かの勇気のある先駆者がすでにこの未開の野に分け入って、数数の貴重な発見をしている事実を無視することはできない。筆者の役目は、これらの先人の偉業を伝えるとともに、いくらかの私見を加えて、この未開の分野の展望を与えることであるが、それは一種の冒険にほかならないから、生態学者からの厳しい批判を受けることも覚悟している。およそ、物事の初めは幼稚でバカげている。しかし、始める必要と価値のあることは、いつかどこかで、だれかが始めなくてはならない。その意味で、本書が若い生態学者やこれから生態学を学ぼうとする学生諸君の間に、生態拡散に対する興味を少しでも呼び起こし、将来の発展の捨石となれば幸いである。

この本は数理生態学のカテゴリーに入るが、数式の使用はなるべく少なくした。読者の大部分が生物学に興味のある人という前提のもとづいただけでなく、数式はあくまでも道具であり目的ではないからである。ちょうど、自動車の構造をよく知らなくても運転して目的地に行けるようなもので、数式はくるまであり、いよいよとなれば、そんなものは捨てて歩いてだって行けるはずである。構造を知っているに越したことはないが、故障してもたいていはだれかが助けてくれる。目的と手段を取り違えてはいけない。

数式を減らしたもう一つの理由は紙面の節約である。この本は約200ページという出版社からの強い要請があった。それに沿って、盛りだくさんにするには、細々とした運算を思い切ってカットし、基になる式と仮説とモデ

ルを明らかにして、すぐに結果を出し、それに生物的解釈を付けるという方法に一貫した。しかし詳しい計算を知りたい読者のために、参考書と文献をなるべくあげることに努めた。それでもまだ数式が多すぎると思う読者には、これは数理生態学の本であり、著者は物理屋であり、数式はやはり“必要悪”だという事実を述べて許してもらおう。

執筆に当たって多くの人々の激励と援助があったことに感謝したい。まず生物個体群の拡散の世界的権威 J. G. Skellam 博士が、本書の企画の初めから脱稿まで、私を励ましてくれたことは何ものにも代えられない力であった。Skellam 博士の数々の仕事は、本書の骨組となっている。

また本書の内容、問題の取り上げ方、参考文献などについてこまかく有益なコメントを寄せられた、沼田真千葉大学教授、太田邦昌博士、清水誠博士、都留信也博士に感謝します。

そのうえ、多くの友人の暖かい眼が本書に注がれていた事実もぜひ伝えたい。とくに G. Parker 博士夫妻には、幾度もくじけかけた私を励まして完成にこぎつけてくれたこと、図版の作成を手つだってくれたことなどに改めて感謝したい。

最後に、非常に特殊な本書の刊行を快く引き受けてくださった築地書館、細部にわたって尽力いただいた書館の編集部長矢野賢治氏に対して厚く感謝したい。

昭和49年3月 ボルティモア市にて

大久保 明

本書に載せた図の中で次のものは版權許可を得ている。

図3.3 : Gregory 博士の許可, 図3.6, 3.7 : Raynor 博士を通じて Brookhaven National Laboratoryの許可, 図7.4 : Waloff 博士を通じて Commonwealth Institute of Entomology の許可, 図8.4, 8.5, 8.6, 8.7 : Siniff 博士を通じて Academic Press Inc. の許可, 図8.9 : Springer-Verlag Inc. の許可, 図9.6 : Platt 博士と Pergamon Publishing Co. の許可, 図A : Springer-Verlag Inc. の許可。 以上の版權所有者に感謝する。

目次

はしがき

1 緒論：生態学における拡散の数理

- 1.1 生態学と拡散の研究史 —2
- 1.2 数学モデルの価値 —5
- 1.3 確率的方法と決定論的方法 —7

2 拡散の基礎

- 2.1 ランダム変数 —11
- 2.2 ランダム歩行と拡散 —12
- 2.3 フィックの拡散方程式 —14
- 2.4 乱流と乱流拡散 —15
- 2.5 作用力のもとでの拡散 —19
- 2.6 自然環境での拡散の理論(物理拡散) —19
 - 2.6.1 大気境界層での拡散 —25
 - 2.6.2 海洋・湖沼拡散 —26

3 生態系での受動的な拡散

- 3.1 植物群落内外の拡散 —30
- 3.2 海洋中の栄養塩の拡散 —34
- 3.3 胞子の拡散 —36
 - 3.3.1 沈降速度 —37
 - 3.3.2 拡散モデル —38
 - 3.3.3 胞子の分散の実験 —41
 - 3.3.4 広範囲の鉛直分布 —43
 - 3.3.5 水中の花粉の拡散 —46
- 3.4 動物の穴の中の流体の交換 —46

4 “におい”と“味”の拡散

4.1 昆虫のフェロモンの拡散 —50

4.1.1 静止大気中へ瞬間的に放出した場合 —51

4.1.2 静止大気中へ連続的に放出した場合 —53

4.1.3 移動しながら連続的に放出する場合 —53

4.1.4 風が吹いている場合のフェロモンの連続放出 —55

4.2 アオウミガメの移動に関連した拡散の問題 —57

5 生物拡散の数理的取扱い

5.1 生物の運動：作用する力のバランス —63

5.2 運動方程式と走性 —65

5.3 ランダム歩行モデルの拡張と生物拡散方程式 —66

5.3.1 Patlak のモデル —72

5.3.2 Fokker-Planck の式 —75

5.4 走性への応用 —81

5.5 走性のシミュレーション —85

6 動物の拡散の諸例

6.1 個体群圧力 —87

6.2 大気中の昆虫の水平・鉛直分布，昆虫の分散 —89

6.2.1 昆虫の分散 —89

6.3 魚や鳥の回帰移動の拡散モデル —100

6.4 マスクラットの分散と拡散モデル —106

6.5 動物に運ばれる植物の散布 —107

7 動物の“群がり”の運動学

7.1 拡散と群がりの物理的な違い —109

7.2 一般化拡散方程式による群がりの表現 —112

7.3 昆虫の群飛 —113

7.4 魚群の運動 —118

- 7.5 群れの分裂と合併 —120
- 7.6 群がりの生態学的意義 —121
- 8 行動圏における動物の動き
 - 8.1 行動圏の大きさと、体重やエネルギー要求量との関係 —125
 - 8.2 行動圏内の分散の数値モデル —127
 - 8.3 行動圏の動物の動きのシミュレーション —129
 - 8.4 行動圏に定着するまでの動物の分散 —134
- 9 パッチ状分布と拡散
 - 9.1 プランクトンのパッチネスに対する拡散の意義 —141
 - 9.2 乱れのスペクトルとパッチのスペクトル —145
 - 9.3 対流渦中のプランクトンの分布 —148
 - 9.4 生物対流 —153
 - 9.5 拡散とパッチ化のエントロピー —154
- 10 時空間における生物個体群の動力学
 - 10.1 種内・種間関係の数式表現 —158
 - 10.2 繁殖しながら拡散する個体群のフロント波 —160
 - 10.3 拡散と直接移出入のバランス：種の侵入，定着の問題 —165
 - 10.4 種内・種間相互作用と拡散の系の不安定性：生物波 —169
 - 10.5 齢構造を考慮した動力学 —176
 - 10.6 拡散を採り入れたシステム解析 —178
 - 10.7 非線型動力学 —180
- 参考文献 —183
- あとがき —202
- 事項索引 —205
- 人名索引 —213