

## コドラートとトランセクト：海岸調査の精度論

大垣俊一

生態学者が海岸で調査を行うときの方法としては、今のところコドラートとトランセクトが最も代表的なものである。コドラート (quadrat) は、正方形ないし長方形の枠を基盤の上に置き、その中の個体数を数えたり、被度を見積もるもので、サイズは対象生物や目的に応じて大体数十 cm から数 m 程度である。トランセクト (transect) は、海岸に引かれたラインのことで、ラインが横切る生物の被度や、ラインに沿ってベルト上に区切られた範囲の個体数や被度を評価する。ベルト上にいくつかコドラートを置き、トランセクトとコドラートを併用することもある。一方、これらとまったく異なりまた古くから行われているものに、定性ないし半定量調査と呼ばれるものがある。これは海岸の一定区域を歩いて、出現する生物の存在量を密度ランクに従って記録するが、今は国際誌の論文で見ることがまれである。これらのやり方は、どれほど正しいのだろうか。言いかえれば、自然の実態をどれほど正確に反映しているのだろうか。

われわれが日常当然のごとく用いるコドラートやトランセクトが、どのような根拠を持ち、またどの程度正確で信頼できるのかということは、重要な問題であるにもかかわらず、日本の海岸生態の分野ではほとんど話題にされていない。この点、さすがに研究者の層の厚い欧米では、それなりにくわしい議論が行われている。ここではそれらの業績を紹介し、潮間帯調査法の精度について考察する。なお、本稿では具体的調査手法のみを扱い、一段階上の調査計画論、たとえば pseudoreplication (Hurlbert 1984) や BACI

(Before-After-Control-Impact, Stewart-Oaten & Murdoch 1986) といったものは含めない。

初めに、若干用語の定義をしておきたい。すでにここまででも「正確さ」という言葉を使っているが、このことばには2種類の意味がある (Sokal & Rohlf 1981)。一つは同じ対象をくり返し測定したときに、値のばらつきが少なく安定であることで、本稿では「精確さ」(英語では precision) と表現する。これは真の値の位置に関係なく、方法内部に限られた概念といえる。もう一つは真の値への近さ、という意味で、こちらは「正確さ」(英語で accuracy) と書く。「精確さ」は「正確さ」の前提だが、そのみで方法の正当性を保証するものではない。調査法の妥当性を決めるのは、最終的には「正確さ」である。

### 文献要約

植物生態学では、調査方法の検討は古くからあるようだが、潮間帯でこのことに注目したのは Jones et al. (1980) が先がけと思われる。Jones らは、イギリス、ウェールズ地方

の海岸で、コドラート、トランセクト、写真撮影、定性的方法（時間を限った種の存、不存の記録）などを同時に行い、結果を比較した。コドラート法では、50×50cmの枠を海岸にランダム、ないし潮位レベルごとに設けた各層内にランダムに配置し、中の個体数や被度を記録する。トランセクトは海岸線に垂直に幅50cmの帯状に設け、中を50cmごとに区切って個体数、被度を調べる。全体として、コドラートの方がトランセクトより労力がかかるが、一方トランセクトは、時間的変化が、その海岸全体の傾向なのか、ライン周囲の限定的なものなのかを区別できない。ただしこの点については設けたコドラートやトランセクトの数にもよるが、この論文ではそこまでの検討はしていない。コドラート内での処理にもふれている。著者らは50×50cmの範囲にランダムにピンを落とし、当たった基盤にその種が存在するかどうかで、区画内の海藻の被度を算定した。たとえば100ポイント中30ポイントでその種に当たったら、被度30%となる。このやり方は以後の方法論研究でも多用され、'point contact'（以後本稿ではポイントコンタクト、ないしポイント法）として、厳密な方法のスタンダードのようになっている。このとき、100ポイントまでの試行では、大体40-60ポイントあたりで、被度があるレベルに漸近する傾向が見られた。25ポイントで、そのレベルの85%に達するので、この数で良好な調査精度が得られるとしている。個人差についても調べている。全体として顕著な差が出た種は少ないが、被度を目視で推定した場合、被度が大きいとき、また隠棲種などの見つけにくい種では、調査者によって有意差が出ている。

Dethier (1984) は、北米西岸で潮間帯のタイドプールの群集を disturbance の視点から調べたが、採用した方法の信頼度についても言及している。海藻や付着生物については目視によって被度 (%) を測ったが、同じプールでポイントコンタクト (100cm<sup>2</sup> に 100 点) でも調べて比較した。その結果、目視ではポイント法よりも結果のばらつき (分散) が小さく、値が安定していた。最大の差は目視が 7%、ポイント法が 18% で、目視での 10% の差は、実質的な差を反映すると考えている。これに加え、目視はかかる時間が少なく、ポイント法では調べにくい地形にも適用できるとして、目視法の優位を主張している。

海岸調査に写真が用いられるようになったことに伴い、それまでの現場での調査に比べた、写真法の精度が問題になってきた。Foster et al. (1991) は、付着生物の被度について、両者を比較した研究である。30×50cm のコドラートに対し、現場でランダムに 50 点を選んで当たった種を記録する (ポイント法)。同時に写真をとっておき、後に引き伸ばして格子線を引き、100 の交点で当たった種を記録する。その結果、現場法の方が多くの種を見出したが、精確さ (値のばらつき) の小ささ) では写真法がまさった。ただしこのような検討では、ポイントの密度を変えれば結果が変わる可能性もあり、ここでの結論は、現場法と写真法の、このポイント数では、という限定つきでとらえる必要があるだろう。

Meese & Tomich (1992) も、岩礁海岸の付着生物の被度推定の問題を扱う。著者らはコドラート法における、枠内計数法の 5 つのバリエーションについて検討した。5 つとは、目視、等間隔のポイント、ランダムポイント、層化ランダムポイント (コドラート内を層に分割し、各層内でランダム)、写真法である。この場合の写真法は、写真をとって研究室で引き伸ばし、透明シート上に手で付着生物の部分の輪郭を描き、その面積をコンピュータソフトを使って計測する。写真以外については、1 コドラート内のポイント数は同じに

してある。これらについて、再現性（1個人で反復したときの一致性）、観察者による差、感受性（希少種の発見効率）の3つの基準によって比較した。その結果、再現性と観察者間の差が少ない点で、写真法が最もすぐれ、目視がこれに次ぎ、ポイント法が最後に来る。かかる時間は目視が最も短く、ポイント法がこれに次ぎ、写真はもっとも長く、また費用もかさむ。結論として著者らは、写真法が最もすぐれているが、時間と金がかかるので目視法を主とし、部分的に写真を取り入れてその正確さをチェックするというやり方を提案している。

Dethier et al. (1993) は、同著者によるプール群集の研究以後、コドラート内の被度の見積もりをめぐるいくつか報告が出されたことを受け、方法論に絞って詳細に分析した結果である。論文では、一般的に言われている目視法とポイント法の利点と欠点について、次のようにまとめられている。ポイント法は客観的で、その正確さを母集団に照らして理論的に評価できる（信頼限界が計算できる）。また、ポイント数を増すことにより、真の値に近づくことが保証されている。しかし現実的なポイント数では被度推定値の正確さに限界があり、多数の平均を取る必要がある。また、希少種を見落としやすく、これをカバーしようとする調査に時間がかかる。一方目視法は主観的であり、観察者による差が出やすい。確率的なサンプリングではなく、反復しても真の値に近づくという保証がない。著者らは野外の同一コドラートに2つの方法を適用すると共に、コンピュータ上に実際の野外データをモデルとする仮想群集を構成し、さまざまに条件を変えてサンプリングするというを行った。つまり、このバーチャル群集こそ「真の値」、という位置づけである。ポイント法としては50×50cm内に50と100のランダムな点を選び、目視法では同じ区画を10×10cm、25区に分割して、それぞれの中で各種の占有面積を%で評価した。いずれもレプリケートをとり、調査者2人で同時に行うことで、個人内と共に個人間の差も見ている。その結果、目視法はポイント法に比べて再現性が高く（個人内、個人間のばらつきが小さい）、より正確（仮想群集の値に近い）だった。100のランダムポイントは50よりも安定で正確だが、なお目視に劣る。またランダムポイントは希少種をとらえにくく、いったんこれに当たると過大評価する。目視も希少種について過大評価になるが、その程度はポイント法より小さい。総じて目視は時間もかからず、安定して正確であり、これがこの論文の表題の 'objective is not always better' という表現の根拠になっている。ただし目視法では、コドラートを小区画に分け、観察者がよく訓練を積み、バイアスを避けるための意識的な努力が必要であるという。

Miller & Ambrose (2000) は、カリフォルニアの岩礁海岸2地点で、これもコンピュータシミュレーションによって、付着生物の被度をめぐり、さまざまな調査法を比較した。やり方は徹底しており、あらかじめ10×10m内を10×10cmの10000区画に分け、各小区画内に打ったポイントに当たった生物のデータを元に、全体像をコンピュータ上に写し、ベースとなる仮想付着生物群集を構成する。これをもとに、3種類の方法（ランダムポイント、コドラート、トランセクト）を適用してサンプリングをくり返し、結果を比較する。この場合のランダムポイントとは、コドラートもトランセクトも使わずに、調査範囲内に直接打点して当たった生物を記録するというものである。コドラート法は、ランダムコドラート（範囲内にランダムに設置）、層別コドラート（調査域を高さで層別し、各層内でラン

ダム)、最適化層別コドラート(層化したとき、個体数の分散が大きいところほど多くのコドラートを置く)のバリエーションがある。トランセクトは、海岸線に対して垂直、水平の2方法で行った。いずれの方法でも、10cm 間隔に打った点に当たった生物を記録し、総打点数はすべての方法で一定にしてある。評価指標は被度、種数、種多様度である。著者らはこのようなシミュレーションの利点について、少ない時間、労力で、さまざまに条件を変えて検討できること、まったく同じベースを使うので、野外調査のように、各調査機会で見積もりで現場の状況が変化している可能性を考慮する必要がないことをあげている。検討の結果、被度の見積もりではランダムポイントと層別最適コドラートが最も正確だが、これらは手間がかかりすぎて現実的でない。それ以外では垂直トランセクト、層別コドラート、その他の順となった。どの方法でも種数は過小評価となり、希少種の発見も不十分である。一方多様度(H')については、どの方法もほぼ真の値に近い。この結果から、著者らはコドラートに対するトランセクトの優位を主張している。

原著論文の紹介はここまでとし、以下では2つの海岸生態学のテキストから、方法論の該当箇所を紹介する。Raffaeri & Hawkins (1999) は、海岸研究の歴史をたどりながら、定性的方法(qualitative)、半定量的方法(semi-quantitative)、定量的方法(quantitative)の順に解説している。定性的調査としては、1930-40年代に世界の海岸の帯状分布を概観的に記述した、Stephensonらのパイオニア的業績がある。半定量法は、あらかじめ種やグループごとに基準となる密度ランク(通例、対数的に決められる)を設け、調査域内で、各種の存在量をそのランクに従って記録する。Crisp & Southward (1958)の、イギリスEnglish Channelの海岸生物地理の仕事が例としてあげられている。半定量法の利点は、調査に時間がかからず、コドラートの設置が難しい場所もカバーできることだが、一方調査者による差が出やすい、統計処理に適合せず、得られた値の客観的評価ができない。定量法とはコドラートとトランセクトだが、利点と欠点は、半定量法の裏返しということになる。その中では、調査域を高さごとに分け、各層の中でそれぞれランダムにコドラートを置く、層別ランダム配置(stratified random sampling)が、最もよく用いられる方法として推奨されている。

Murray et al. (2006) は、これまで海岸調査の方法論を主導してきた研究者が著者となり、今のところこの分野の定番とってよいテキストである。記述は定量法が中心だが、定性法と半定量法についても短い解説がある。定性法(subjective)は、abundant, common, rareなどの主観的な階級によってその場の各種の存在量を評価するもので、広い範囲について概観を得る場合は有用としているが、記述は短く、ほとんど問題にされていない。半定量法(semi-quantitative, plotless design, timed search)についてはややくわしい記述がある。いくつかバリエーションがあるが、最も規格化されたものでは、一定範囲を時間を決めてまんべんなく歩き、出現した種を数量的なスケール(多くは対数的)でランク付けして記録する。この方法では、広い範囲を短い時間でカバーできる。またコドラートやトランセクトを設置しにくいところも調べられ、低密度な種も含まれやすい。その結果、得られる種リストはより完全なものになる。難点としては、調査者の熟練度によって結果が大きく左右され、レプリケートがないため、得られた値の統計的評価(信頼限界など)

ができない。また密度の記録が、どの範囲のどのような値なのかはつきりしないことがある。その結果、特に、調査者が入れ替わりやすい大スケールや長期にわたる調査では、結果の比較が難しい。定量法のうち、コドラート法には、random、systematic（等間隔）、targeted（特定種のパッチなどに限る）、stratified（高さなどで層別して置く）などの配置がある。ランダム以外は全体平均の統計的推定に難があるとしつつも排除せず、むしろ正確な推定のために層別化する必要があるとしている。コドラート内での測定法については、数えられるものは全数の計数、被度についてはポイント法を紹介している。写真撮影は有力で、フィールドでの労力が少なく、研究室で十分時間をかけられる、客観的データが残り、くり返し検討可能などの利点がある。しかし海藻など何層かになっている場合や、隠棲種の分析に難があり、種同定も正確にできないことがある。トランセクトは主に被度推定に用いられ、垂直トランセクトは、コドラート法より実際の被度に近い値が得られるという Miller & Ambrose (2000) の成果を紹介し、その適用を勧めている。長期調査の場合、コドラートないしトランセクトを固定して、毎回同じ場所で調べるか、そのつど新しく設定するかについても議論している。同じ場所で調べれば、結果に場所差が混入することがなく、評価が容易である。しかし初回はともかく、2回目からはサンプリングがランダムとはいえないから、結果は調べた範囲内を反映するにのみで全体の推定値にならない。一方、毎回新たに配置しなおすと、示された変化が、時間によるものなのか、調べる場所が変わったことによるのかわからなくなり、これらを分離するために多くの調査地点が必要になる。

## 精度論の考え方

### 1. 自然の実態

本稿の冒頭で、方法の正しさは「自然の実態」をどれほど正確に反映するかで決まるといふ趣旨のことを述べた。しかし、自然の実態とはなんだろうか。また、人はそれを知ることができるのだろうか。つきつめていうと、同じものであっても違う人間が見れば、全く同じに見え、感じられるということはあるえない。自然の実態なるものが、誰が見ても共通な、あるいは人間の認識と独立なものとして確固として自然界に存在するというのは、根拠のないドグマにすぎないとも言える。これを観念論の立場ということができるが、しかし科学は本質において、強固な実在論だから、ここではそういうものはあるという前提の下で、いかにしてそれに迫るかという視点で考えることになる。

ここに紹介してきた海岸生態学の論文で、自然の実態を明らかにし、それを基準に方法の優劣を論じたものは、全くないわけではないが、まれである。しかしそれ以外に方法の信頼度を評価する方法がないかということ、そうともいえない。研究者たちがこの問題にどのように対処してきたか、またそれらの他にどのようなやり方がありうるか、考えてみる。

#### ① 徹底調査

Dethier et al. (1993) はコンピュータ上に人工的に生物を配置した仮想コドラートを構成し、Miller & Ambrose (2000) は、あらかじめ 10×10cm の格子 10000 個の中の生物分

布を調べてそれをコンピュータに移し、それを「実態」としていくつかの方法の正確さを評価している。これは方法論としては最も正確といってよく、現場の状況に左右されることなく、理想化された条件のもとに、徹底した分析が可能である。しかし問題がないわけではない。一つは、この方法では狭い範囲の分析は可能だが、海岸線数百 m というような広範囲の実態を構成するのは無理がある。著者らは野外の 10×10m で調べているが、それくらいまでが限度だろう。数百 m となると人工群集を作ってもリアリティがないし、野外でこれほどの範囲で 10cm 角の詳細分布を調べるなどは事実上不可能だ。もう一つの問題は、実際の調査はパソコン上の操作とはちがうということである。がけや転石、暗い所と明るい所などで精度は変わるし、時間がたてば疲労の影響も出てくる。あまりコドラートを増やすと、調査者による踏みつけ (trampling) も問題になる。そういうことを考慮しなくてよいのがバーチャル群集の利点だと Miller & Ambrose は言うのだが、話が逆であろう。

調査は人間が行うのであり、そのことに由来するさまざまな現象が発生する。コンピュータシミュレーションは、こうした要素をとらえられるだろうか。

## ② 漸近法

同じ方法でくり返し調査を行い、あるいはコドラートをふやすなど、調査努力を増して結果がある値に漸近することを確かめ、そのレベルを真の値とみなす。Jones (1980) がこの例で、ポイント法における妥当なコドラート当たりポイント数を、このやり方で決めている。しかしもしも方法にあらかじめバイアスがあると、誤った値に漸近する可能性がある。わかりやすい例をいえば、5 ミリのメッシュのふるいで砂をすくい、これをくり返して出現種数があるレベルに接近したとしても、この方法ではサイズが 5mm 以下の種はとらえられていないから、その場の全種数を代表することにはならない。もちろん 5mm 以上の種数という制限をつければよいわけだが、ある方法にどのようなバイアスがあるかわからない場合は、制限のつけようがなく、漸近レベルが何を表しているか判断できなくなる。

## ③ 結果の安定性

自然の実態は不問とし、それぞれの方法が導く結果の安定性を評価する。Dethier (1984)、Foster et al. (1991)、Meese & Tomich (1992) の例がある。この場合、方法の妥当性の基準になるのは、本稿でいう精確さ (precision) だが、これは妥当性の一つの条件ではあっても、それ自体真の値への近さ (正確さ accuracy) を示すものではない。安定してバイアスのある値を示すこともありうるからだ。たとえば Dethier (1984) は、目視とポイント法を比較するに当り、目視の値の変動幅が 7% で、ポイント法の 1/2 以下であることを示し、目視における 10% の差は真の差を反映するとしたが、これは「精確」さを「正確」にすりかえる議論である。

## ④ 異なる方法の一致

異なる 2 つないしいくつかの方法が、何かの指標において一致することによって、それらの方法を妥当なものとする。たとえば、半定量法と定量法で同じ海岸を調べて、南方性種の出現頻度に有意差がない、という結果を以って、両者の方法の妥当性と、その頻度値の正確さを主張する。JS ミルが一致法として示しているやり方で (大垣 2007)、ミルの

場合はその指標値の真理性に力点があるが、それを、それぞれの方法の正しさに読み替えることもできる。方法が正しくなければ、真の値が得られることはないからである。しかしこの判断には、いろいろ問題がある。一つは、それら異なる方法が、互いに連関している可能性。似た方法から似た結果が得られるのは当然である。第二に、後件肯定の問題。自然の中にあるパターンがあり、それをいくつかの正しい方法で調べれば、結果が一致する、というのは一応正しいとしても、結果が一致したから方法は正しく、それらが示すパターンが自然界に存在するというのは、論理が逆であり、必ずしも正しいといえない（大垣 2003）。ただし複数の指標が一致したり、一致を示した方法の数が多いほど、信頼度は高まるだろう。

#### ⑤ 信頼度の高い指標の抽出

取り上げる指標によっては、方法によるバイアスを受けにくいことが考えられる。代表的なものは、群集内で何らかの属性を示す種の割合である。このように全数で割った指標は、調査努力の影響を受けにくい。たとえば、ある海岸に南方性種が 40 種、北方性種が 60 種いて、これをある方法で調べたとする。もしもどちらかのグループを特によく発見するという偏りがなければ、両群の比は 4 : 6 という、自然の実態値に近い値をとることが期待される（大垣 2004）。

以上挙げた中では、①の徹底調査が最も確実だが、多大な労力がかかり、そう簡単に実行できないし、広範囲になるとお手上げとなる。ここに示したさまざまな方法を、組み合わせて使用するのが現実的だろう。

## 2. 半定量法の評価

海岸生態学の調査方法論は、概ね定性→半定量→定量と移り変わってきた。私は田辺湾の海岸生物調査でこの3つとも採用したことがあるが、その経験から、これらの利点と欠点について考えてみたい。筆者らの長期調査では、はじめのうち定性法を使い、後に半定量法に切りかえた。定性法では、海岸の一定区画を歩き、出現した種を、多い、普通、少ない、まれ、なし、の5段階に評価したが、この基準には客観的な根拠がない。同じ種と同じ状態を見ても、人によって評価が違いやすい。判断のベースは、個人がそれまで見てきた海岸の状態かもしれないし、過去のその地点の状態かもしれない。極端な場合、島を1周する間に基準が変わっていることもある。そのため、異なる場所、時間のデータを比較することができない。この点について批判を受けたこともあって、のちに定性法から半定量法に切り替えた。密度ランクに対数的基準（1・10/m<sup>2</sup>, 10・100/m<sup>2</sup>…）を設け、各調査区内で各種の最大密度を評価する。これによって、一応場所的、時間的比較が可能になったが、なお問題がないわけではない。その最大のものは、先に紹介した文献でも批判されているように、調査者の熟練度や人数によって結果が左右されがちなことである。コドラートやトランセクトを用いた定量法は、調査努力を一定にしやすく、この点は改善されるが、しかし調査に手間がかかるため、範囲が制限され、広げようとするると多くの人数と時間を要するなど、調査遂行上の実務的（logistic）な問題が発生する。この問題は、大スケール、長期の調査の遂行のためには無視できない。

このほか文献類では、半定量法は統計処理に難があることがくり返し強調されているが、

私はこの点は大きな問題であると思っていない。定量調査に基づく推測統計が有効なのは、複数のコドラートで得られた値をもとに、現場における真の値の存在範囲を、ある信頼度で推定できるからである。この点から言えば、半定量法で得た値は単一で分散がなく、真の値をどの程度反映しているかを判断しようがない。しかし半定量法でも、何かの属性を示す種の存在割合を、場所ごと、年度ごとに統計的に比較するなどのことはできる。つまり評価の対象を選べば、推定に信頼度を付与することは可能である。

### 3. 精密化の行方

定性から半定量、コドラートとトランセクト、さらにコドラート内の処理は、目視からランダムポイント、写真格子点…と、潮間帯調査の方法論は、主観の排除と統計適合性の方針の下、精密化の一途をたどっている。数十 cm のコドラートの中をさらにメッシュに分け、各メッシュ内を目視で評価すべきか、ポイントコンタクトがよいか、とか、コドラートの外枠にかかった生物を内に取り込むか外にするか、その基準をどうするのかという edge effect の問題や parallax (視差) などの細かい議論もある。海岸の著しく異質性にとんだ環境を尻目に、わずか数十 cm の区画内に視点を集中する欧米の方法論には違和感を感じる面もあるが、しかしこれにはそれなりの理由があるのだと思われる。今の海岸生態学では、ランダムサンプリングと推測統計による全体像の推定、という Fisher 的方法論が主流である。つまり、コドラートの中を押さえれば、あとは統計計算によって結果を自動的に海岸全体に拡大できるから、あえてバイアスの大きいやり方で広い範囲をカバーしなくてもよい。そのかわり、推定の元になるコドラート内の状態は、可能な限り正確に把握しなければならない…。しかしこの考え方には問題がある。潮間帯では、環境もまた生物の分布も、パッチ状、層状になっていることが多い。こういうところでは、たとえばある種の密度分布は、ゼロに近いところと高密度なところと分離した二山形になる。つまり正規分布にならないから、分散分析の要件を満たさない (大垣 2003)。案の定、本稿で紹介した論文類では、ランダムサンプリングより、層化ランダムサンプリングの精度がよいという結果になっている。しかし、パッチや層状になっているかどうかは、別の調査で判断しなければならない。それが写真判定か相観観察、半定量法なのかは知らないが、コドラート法より厳密さが劣ることは避けられない。つまり、精密さを追求した結果、批判していた精密でない方法を併用しなければならなくなる。また、層化ランダムや、パッチとそうでないところを区別するようなサンプリングはそもそもランダムではなく、推測統計の理論に抵触する。Fisher がこの点を厳しく批判し、Gossett と論争したことは有名である。半定量法に比べた定量法の利点は、測定値の信頼限界をより多くの場面でより正確に決定できるということにあるとされるが、詳しく検討すれば、この主張にも疑問符が付かざるをえない。

「正確さのための正確さを増大させようと努めるのはいかなる場合にも好ましくない。それはたいてい、明晰さの喪失と、事前作業への時間と労力の空費に終わる。問題状況が要求する以上に正確を期そうなどと、決して試みるべきではない」(ポパー 1978)。ここにいう、問題状況が要求する、というのは、生態学でいえば、有意なパターンを自然界に見出すということになるだろう。半定量法であれコドラート、トランセクトであれ、目的



に適合するのであれば、その利点欠点を考慮しつつ、柔軟に使用すべきであると考える。  
引用文献

- Crisp DJ, Southward AJ (1958) The distribution of intertidal organisms along the coasts of the English Channel. *J. Mar. Biol. Ass. UK.* 37, 157-208.
- Dethier MN (1984) Disturbance and recovery in intertidal pools: maintenance of mosaic patterns. *Ecol. Monogr.*, 54, 99-118
- Dethier MN, Graham ES, Cohen S, Tear LM (1993) Visual versus random-point percent cover estimations: 'objective' is not always better. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 96, 93-100
- Foster MS, Harrold C, Hardin DD (1991) Point vs. photo quadrat estimates of the cover of sessile marine organisms. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 146, 193-203
- Jones WE et al. (1980) Methods of data collection and processing in rocky intertidal monitoring. *in The Shore Environment Vol. 1: Methods.* 137-170. Price JH, Irvine DEG, Farnham WF eds. Academic Press.
- Hurlbert ST (1984) Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecol. Monogr.* 54, 187-211.
- Meese RJ, Tomich PA (1992) Dots on the rocks: a comparison of percent cover estimation methods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 165, 59-73
- Miller AW, Ambrose RF (2000) Sampling patchy distributions: comparison of sampling designs in rocky intertidal habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 196, 1-14.
- Murray SN, Ambrose RF, Dethier MN (2006) *Monitoring Rocky Shores.* Univ. California Press.
- 大垣俊一 (2003) 結果の明快さは方法の正しさを保証するか. *Argonauta* 8, 3-10.
- 大垣俊一 (2003) 分散分析と海岸生態学 (2). *Argonauta* 9, 13-20.
- 大垣俊一 (2004) 長期変動論における妥当な論証形式について. 2004年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会講演要旨集, p67.
- 大垣俊一 (2007) ミル型論証と生態学. *Argonauta* 14, 3-9.
- ポパーK (1978) 果てしなき探求—知的自伝. 森博訳. 岩波現代選書
- Raffaeri D, Hawkins SH (1999) *Intertidal Ecology* (2nd ed.). Kluwer Academic Publishers.
- Sokal RR, Rohlf FJ (1981) *Biometry* (2nd ed). Freeman & Co.
- Stewart-Oaten A, Murdoch WW (1986) Environmental impact assessment: "pseudoreplication" in time? *Ecology* 67, 929-940.