

生物系資源のオーバーシュート
～持続可能な限界を超えるときへの振る舞い～

近藤 恭彦

会津大学短期大学部研究紀要 第 81 号抜刷

2024 年 3 月

生物系資源のオーバーシュート ～持続可能な限界を超えるときの振る舞い～

近藤 恭彦*¹

【要旨】近年、森林や魚介類など生物資源の多くが減少し、多くの種が絶滅の危機に瀕している。既に絶滅してしまった種も多々あり、砂漠化してしまったかつての森林も多い。これには色々な原因が考えられるが、長い間持続可能な限界を越えて収奪されてきた事も大きな原因であると考えられる。この持続可能な限界について場合を分けて考察する。

持続可能な生物資源である森林や魚介類について、収穫を永続的に維持できる為の境界を「持続可能な限界（環境の収容力）」と定義し、その限界を行き過ぎる事を「オーバーシュート」と定義する事とする。この「オーバーシュート」のパターンを、「成長の限界」シリーズ3部作*²で示された4つのパターンに、独自に3つのパターンを追加して、パターン別の特徴やリスクを考察した。

生物は、何の制約も無い環境の下では、指数関数的（等比数列的）に増える。しかし有限の地球上では、指数関数的増加を持続することは、科学技術をもってしても不可能である。生物（資源）の増殖には、どのような場合でも持続可能な限界は存在し、その限界に近づけば指数関数的増加は出来なくなる。

更に、どのようなパターンでも、持続可能な限界を超えている状態が長引けば、持続可能な限界は衰退し、衰退の程度が大きければ破局に至る。これが化学平衡との大きな違いである。化学平衡は、平衡点を越えたとしても、それぞれの物質の量によって平衡点の位置は決まるが、持続可能な限界は、それを超えれば超えるほど下がってくるのである。

衰退からの破局を避ける方法として、科学技術で限界を上げる方法と、限界を超えないように収穫量を制限して増やさない、若しくは減らすという2つの方法が考えられる。現在主流である科学技術で限界を上げる方法自体、限界が見えてきてリスクも大きくなって来ている。限界値を超えないように、収穫量を限界値以下で定常化することが、「持続可能な社会」に移行する為の好ましい条件と考えられる。

*1： 会津大学短期大学部非常勤講師

*2： 論文末尾の9. 参考文献 [1] [2] [3]

0. 「オーバーシュート」と「限界」とを定義する

「オーバーシュート[overshoot]」の意味は、動詞としては、「行き過ぎる」とか「通り越す」である。何を「行き過ぎる」、「通り越す」のかと言えば、ここでは「限界」と定義する。「限界」とは越えられない境界の事であるから「限界を越える」と言う言葉には矛盾がある。しかし本論考では、「限界」の定義を「越えられない境界」という意味ではなく、「持続可能な限界」と定義する。すなわち、その限界以上の状態を持続することは出来ないという意味での「限界」である。これは成長の限界[The Limits To Growth]シリーズ3部作*でも使われている「限界」の定義に近い。この持続可能な限界は、一時的に越えることは可能である。しかしこの限界を越えて永続する事は出来ない。文字通り「持続可能な限界」であるからである。

具体的な例で言えば、自動車は出せるスピードに限界があるが、その「出し得るスピードの限界」という意味ではなく、例えばカーブを曲がっても、道路を外れずに走り続ける事が出来る為の「持続可能なスピードの限界」という意味である。もう一つ別な例を示せば、アルコールを飲めるだけ飲んで、「どこまで飲めるのかという限界」ではなく、アルコールを飲んでも、翌日また普通に通勤、通学して継続して暮らしていける為の「持続可能な限界」という意味である。

以上、ここではこの「持続可能な限界」に近づいたとき、さらにはその限界を越えたときの振る舞いについて、パターン別に考察する事とする。

成長の限界[The Limits To Growth]シリーズ3部作では、主に人口と経済を中心に、資源や農作物、食料、汚染物質の吸収源(シンク)など多岐にわたる地球上の事象に関してのオーバーシュートについて考察している。しかし本論考では、対象を限定して、生物(資源)とする。そのように限定する理由は、森林や水産資源などの生物(資源)は、その増え方に共通の特徴があり、どれも同じ関数形で扱え、同じモデルのグラフが使えるからである。森林でも水産資源でも、生物資源は再生可能な資源であるが、人間の活動の為に枯渇の危機に瀕している種も多いという共通点もあり、まとめて議論する事が可能である。

*：成長の限界3部作とは、この論文末尾の9.参考文献[1][2][3]である

1. 何ら制限の無い場合の生物の増え方

生物(水産資源、森林資源など)は、一般に個体数を増やせる空間が十分に存在し、育つための栄養(食料、肥料)も十分にある期間は、指数関数的(離散分布なら等比数列的)に増加すると考えるのが適切である。

何故なら、一定時間で増える個体数(量)は、現在存在する個体数(量)に比例すると考えるのが理に合うからである。その生物の個体数を N 、時間を t 、比例定数(増殖率)を k とすると、微分方程式は

$$\frac{dN}{dt} = kN \quad \dots \quad (1)$$

と表される。個体数 N は厳密には離散分布であるが、数が多ければ連続分布とみなせる。この微分方程式は、微分方程式の最も初歩的な問題として簡単に解ける。

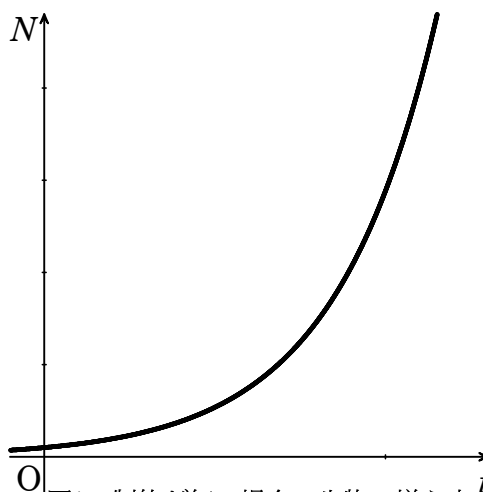


図1 制約が無い場合の生物の増え方
[指数関数的増加]

その解は

$$N = Ae^{kt} \quad A \text{は定数, } e \text{は自然対数の底} \quad \dots (2)$$

で表され、確かに指数関数となっている。グラフは図1のようになる。

地球上に、開拓の余地のあるフロンティアがいくらでもあると考えられていた時代には、図1のように、資源の指数関数的増収が期待されていた。しかし、有限の地球では、どのような資源でも、このような増収を続ける事は不可能である。資源のオーバーシュート現象が地上の至るところに観察される現在、「限りなき成長」という発想は改めなければならない。

2. 限界値が一定値に固定している場合の生物の増え方

当然のことながら環境が有限の場合には、いつまでも指数関数的に増え続ける事はあり得ない。生息空間、栄養（食料、肥料）などの制約により、途中から増加率は減ってきて零に近づき、ほぼ定常状態になると考えられる（更には負のフィードバックループが次第に強く働くようになり、増加率が負に転じて減少を始めることも考えられる）。このような関係は有限な空間（地球上）での生物の個体数の増え方の基本と言える。グラフで表すと、S字型の曲線となる。これがいわゆる成長曲線（ロジスティック曲線 [Logistic curve]）である。ロジスティック方程式は、個体の数量の増加の限界値を想定して、その限界値と現在の個体数の差に、増加率が比例するという理に適った微分方程式である。このロジスティック方程式は以下である。

$$\frac{dN}{dt} = k \left(1 - \frac{N}{Q}\right) N \quad Q: \text{個体数量の限界値} \quad k: \text{比例定数} \quad \dots (3)$$

指数関数の微分方程式 (1) と比べると、その右辺に $1 - \frac{N}{Q}$ を掛けるのが特徴である。

$0 \leq \frac{N}{Q} \leq 1$ であるから、 N が限界値 Q に近づけば増加率が減ってくるという、理に適った式となっている。そして、 $t \rightarrow \infty$ で $N \rightarrow Q$ となり、増加率が0になって、増加が止まる。

ロジスティック方程式も簡単に解ける基本的な微分方程式である。この解は

$$N = \frac{AQe^{kt}}{1 + Ae^{kt}} \quad N; \text{個体数}, \quad A = e^c: \text{初期値}, \\ k: \text{増加率 (成長率)}, \quad Q: \text{限界値} \quad \dots (4)$$

となる。グラフに表すと図2のようになる。

※以下本論考で用いるグラフは、
 グラフの横軸は時間 t 、
 縦軸は対象となるものの数量 N
 を表すものとする。
 さらに、
 実線 — は資源などの数量、
 点線 は持続可能な限界値
 (収容能力)
 とする。

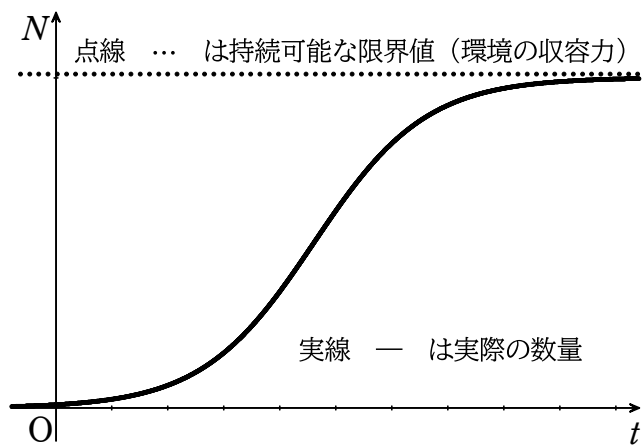
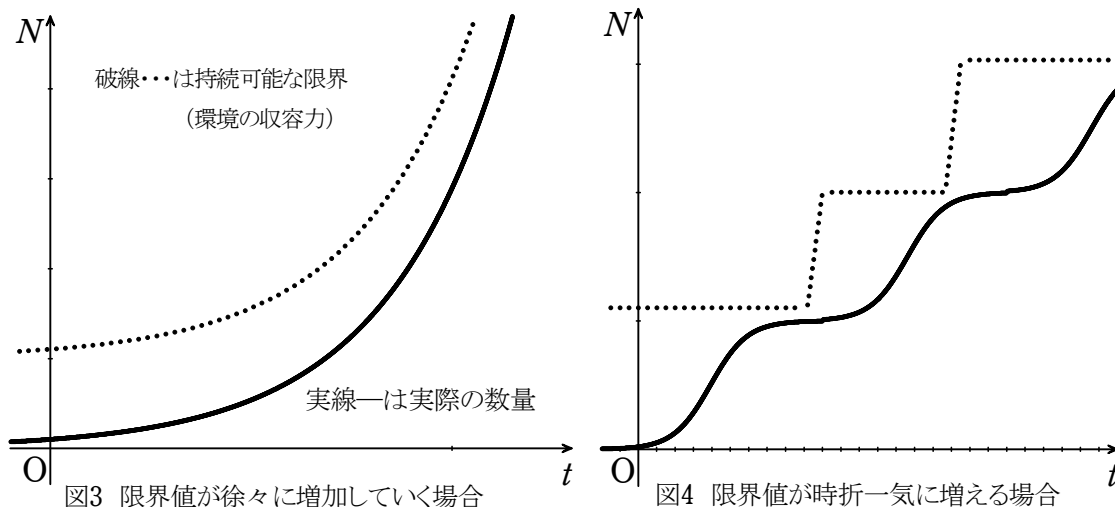


図2 一定の限界値がある場合の生物の増え方
 [ロジスティック曲線]

3. 限界値が増加して行く場合



成長の限界シリーズ3部作では、図1の代わりに図3のようなグラフが描かれている。則ち、限界値が無いのではなく、持続可能な限界値（環境の収容力）も実際の数量の増加と共に拡大していく場合である。このように限界が増大していくのは、生産技術の革新、若しくは、生産空間の拡大（農地の拡大、漁場の開拓など）によると想定していると考えられる。しかしこれは単に、一定の限界値がかなり上方にあって、その為、限界の影響がまだ顕著に現れていないロジスティック曲線の下の方の部分であるとも考えられる。若しくは、考える領域を限定している場合で、収穫する領域を周辺領域まで拡大して行く過程で、限界値が拡大していくように見えるだけであり、地球全体で考えれば、限界値は固定されているのである。

図3のように、限界値が徐々に上がっていくのではなく、図4のように一定値に固定されていた限界値が、暫くの間隔を置いて、一気に何度か上がるケースのほうが一般的であろう。技術革新や空間の拡大は、連続的に徐々に起こるのではなく、ある程度長いスパンを置いて、急に一気に起こる場合が多いからである。歴史上、そのような変化を繰り返してきたと考える方が史実をよく反映している場合が多い。エポックメイキング的な出来事（革新的技術の登場、未開の土地の発見等）が起こって一気に限界が上がったのである。大きな例を挙げれば、大航海時代のような（西洋人の立場からの）新大陸の発見や、産業革命などがある。

図5の日本の人口の長期推移のグラフを見ると、図4のようなパターンで人口が増加してきたと考えられる。西暦800年以前はグラフにはないが、縄文時代に一度ピークに達した後減少した人口（オーバーシュートによって減少したと考え得る。）が、その後の弥生時代から江戸時代の中期、1700年くらいまでにかけて増加した。その後、江戸時代の間は暫く安定した定常状態にあった。グラフから、江戸時代の頃の日本の人口の限界は、3000万人から3500万人の間であったであろうと推測される。ここまでの人口の増加は、人類の歴史上最大のパラダイムシフトと言われる農業の発明によるものであろう。つまり、この農業の発明こそ最大のエポックメイキングであったと言えるである。その後、農業技術の進歩や農地の開墾などは、継続的にも起こり、図3のように少しずつ限界が上がっていった期間もあった。すなわち、日本の人口は、図3と図4を合わせた感じで増加してきたと考えられる。これは日本だけの傾向ではなく、世界の多くの地域の人口増加傾向に関しても言える事である。その後、明治維新で欧米の革新的技術が沢山入ってきて、持続可能な限界値が大きく上がり、人口は超指数関

数的に一気に増えた。その意味で日本の明治維新は西洋の産業革命のはじまりに相当すると考えて良いであろう。そして20世紀末あたりから増加率は下がりはじめ、2004年にピークを迎えている。

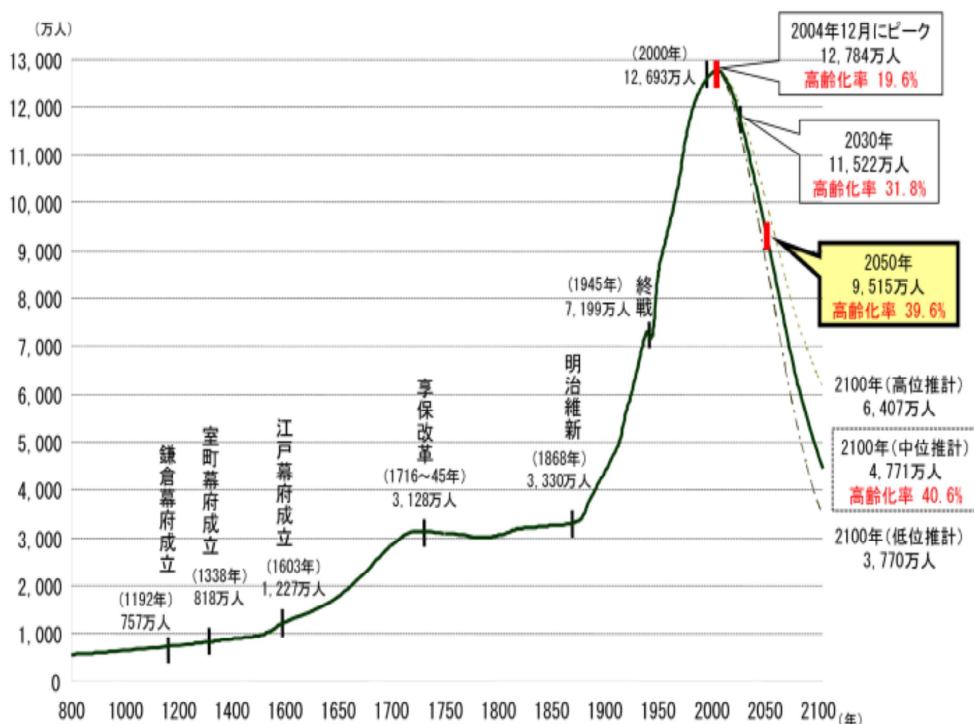


図5 日本の人口の長期推移 総務省:我が国における総人口の長期推移 より
https://www.soumu.go.jp/main_content/000273900.pdf

ところで、日本の人口は2004年のピーク後は、減少を続けている。そして、その後もずっと減少が続くと予測されている。現在この「人口減少と少子化」が懸念されているが、明治維新からの急激な人口の増加の途中で持続可能な限界値を越えてしまった可能性も高いと考え得る。よって人口の減少を心配するばかりではなく、持続可能な人口の限界を越えてしまった事の方こそ懸念すべきである。事実、ここのとことずっと、日本の食料自給率(カロリーベース)は40%以下であるし、エネルギー自給率に至っては20%未満である。この、食料自給率とエネルギー自給率の低さはかなり危機的状況である。食料もエネルギーも、輸入が出来なくなったら、たちまち日本社会は立ち行かなくなってしまう。現在の日本の繁栄は、砂上の楼閣と言えるのである。このままの状態では、日本は「持続可能な社会」への移行は極めて難しいであろう。

4. 行き過ぎて振動

森林や魚介類(水産資源)など生物の再生可能資源には、自己回復能力が備わっている。これらの資源は、収穫量が持続可能な限界を越えても、暫くは増産が可能である。それはストックがあるからである。例えば森林を持続可能な量以上に伐採しても、当然のことながら、全ての木々を伐採するまでは、木を伐採し続けることは可能である。同様に、漁獲高が持続可能な限界を越えても、海に魚がいる限り、漁は可能である。

生産量、収穫量が頭打ちになったときに、人々が危機感を抱いて、過剰な収穫、消費を控えれば、

再び持続可能な限界以下に戻り得る。持続可能な限界以下に戻ると、ストックが増えてくるので、人々はまた過剰な収穫を始め、再び持続可能な限界を越えることになる。このような一連の振動を繰り返しながら、生産量が定常化して行くケースは、一つの理論上の理想形であろう。それを表した模式図が図6である。

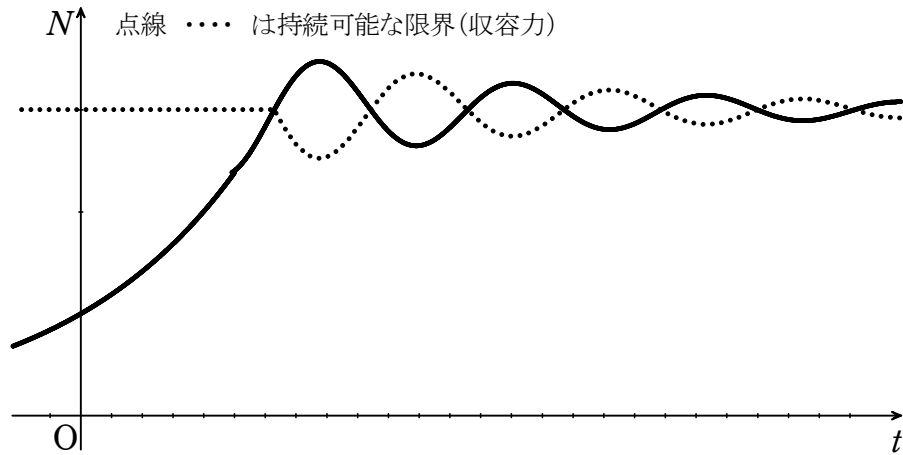


図6 限界値と実測値の減衰振動から定常化へ

図6のように、行き過ぎては戻る振動を繰り返すのが可能なのは、持続可能な限界を越えて過剰なストレスを受けている間も、環境が再生可能なシステムを維持できて、持続可能な限界以下に戻っている間に自己回復出来る場合に限られる。

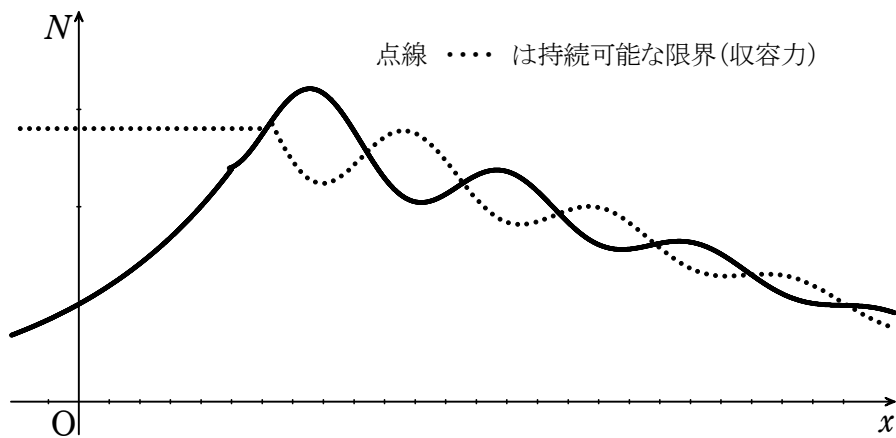


図7 限界値と実測値の減衰振動から衰退へ

十分に自己回復出来る前に増収に戻すと、振動する度に持続可能な限界が下がってくる。これが減衰振動から衰退に向かう図7である。例えば、ある種の魚を採り過ぎて限界を越えた場合、稚魚や卵を産める個体まで獲り過ぎれば、持続可能な限界は下がる。そこで漁獲を制限して持続可能な限界以下に戻ったとしても、卵が十分に産まれて、個体数を十分に回復する以前に、また過剰に獲り過ぎれば、更に限界は下がる。これを繰り返せば、限界値が下がる一方である。実際、このような衰退を繰り返して、絶滅の危機に瀕している生物資源は多い。それが顕著に現れている魚類（水産資源）の例を以下に挙げる。図7の、限界値と実測値の減衰振動から衰退に至るモデルは、図8と図9の実例を良く再現している（図8は途中までよく再現している）。

図8は大西洋のタラ資源量の推移である。1970年頃のピークを境に振動しながら衰退に至るサイク

ルに入っていた。危機感を抱いたICES [国際海洋探求会議] は2001年から禁漁を勧告した。そして、長年にわたって漁獲枠を厳しく制限する事によって、タラ資源のSSB [産卵バイオマス] は2006年を底に増加し始めた。つまり、絶滅の危機を回避出来た事になる。

一方、図9の日本におけるニホンウナギの稚魚の採捕量は、衰退へ向かうサイクルから抜け出せず、今のところ、図7のモデルのように絶滅・枯渇の危機に向かっている。

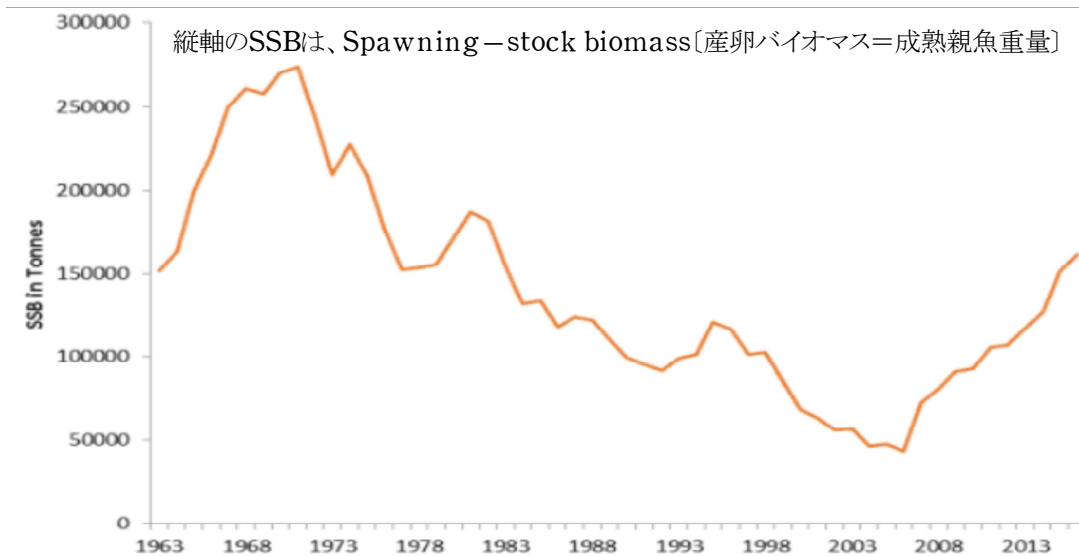


図8 大西洋のタラの資源量の長期推移 The science of sustainable seafood, explained より
<https://sustainablefisheries-uw.org/atlantic-cod-part1/>

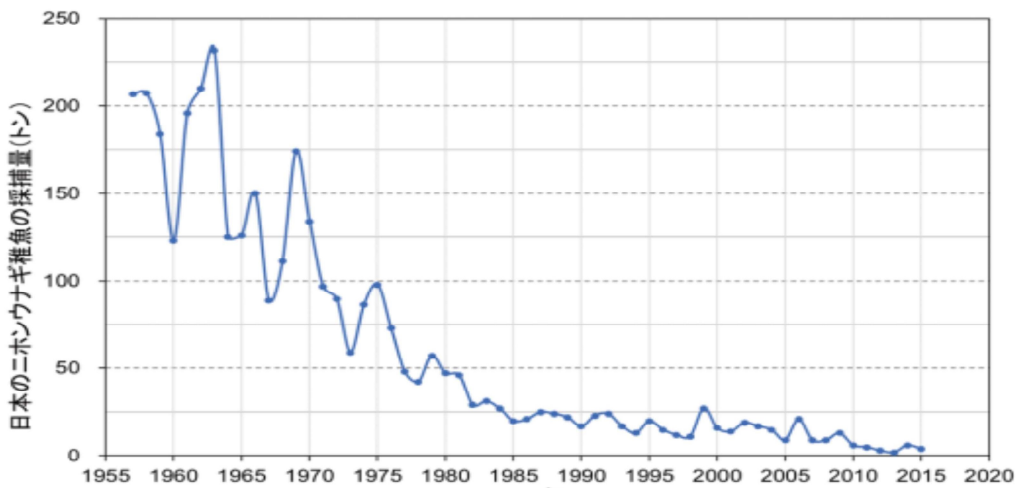


図9 日本におけるニホンウナギ稚魚の採捕量 水産庁水産研究・教育機構 国際漁業資源の現況より
https://www.kokushi.fra.go.jp/R03/R03_82S_ELJ.pdf

5. 行き過ぎから破局へ

資源の採取・収穫が増えている状況であっても、持続不可能なペースで行われている時点で、行き過ぎの状態と言える。長い年月を掛けて沢山の木々が成長した森林があれば、成長を上回る速度で長期にわたって伐採することも可能である。魚も沢山いれば、年間増加量を越えた持続不可能な漁を続ける事が出来る。行き過ぎは資源のストックがあるからこそ起こり得るのである。そして、資源のストックが多ければ多いほど、過剰に行き過ぎることが可能である。

しかし持続可能な限界を越えたまま、限界以下に戻らない期間が長く続くと、持続の為に残して置くべき資源をも使い尽くしてしまう事になる。その結果、持続可能な限界が急速に下がり、一気に崩壊に至る危険性がある。例えば、持続可能な限界を越えて森林を過剰に伐採して、はげ山化（さらには砂漠化）してしまう場合である。また例えば、持続可能な限界を超えて魚を獲り過ぎて、稚魚や卵まで食べ尽くしてしまう場合などである。このような事例は枚挙に暇がない。このような場合、資源が枯渇してしまうまでの破局に至れば、永久に回復できない崩壊に至る。そのパターンを2つに分けて考えてみる。

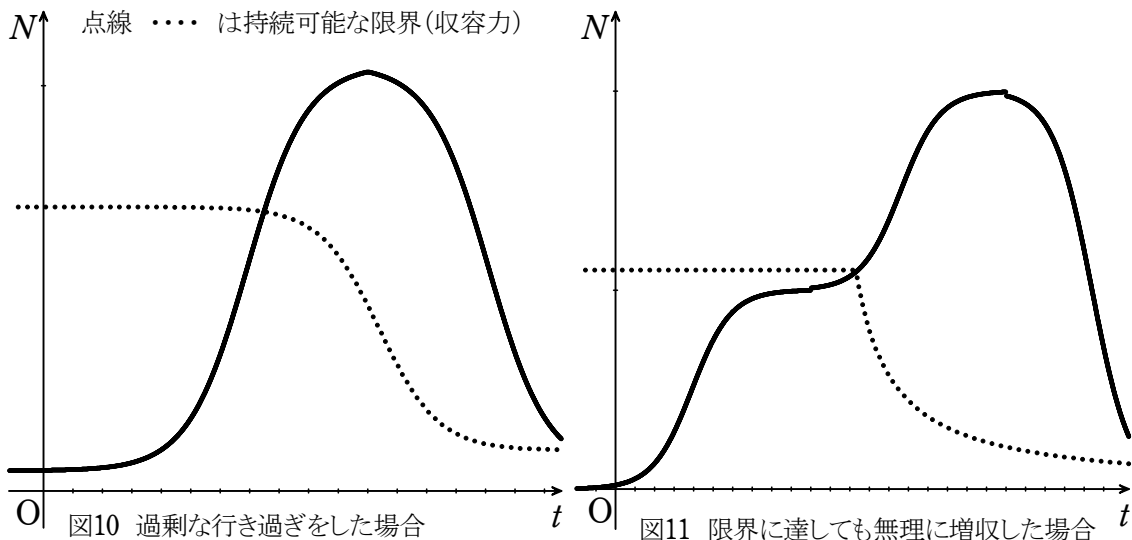


図10は、十分なストックがあって、かなり過剰に行き過ぎて、行き過ぎの状態が長く継続してから、急に収穫量が下がっていく場合である。限界を過ぎても大量のストックがあり、収穫量が拡大を続けるので、行き過ぎたことに気づかない。若しくは気付いたとしても、収穫量が増加しているので、安心して過剰な収穫を続けるケースである。限界を越えた期間が長引くと、ストックが底を突きはじめ、突然制御不能な衰退が始まる。

一方図11は、ロジスティック関数的に限界に達し、収穫量の増加がほぼ止まってしまったにもかかわらず、無理に収穫を増やす場合に相当する。最初は、徐々に収穫量の増加分が減ってきて、一端増加率が零に近づくので、持続可能な限界に達したことは容易に判断できる。それにもかかわらず、収穫量を無理に増やそうとするケースである。無理な増収をしても、科学技術によって持続可能な限界は上げられると考えているのか、それとも、収穫できるうちに出来るだけ沢山収穫してしまおうと考えているのかはそれぞれであろうが、このように過剰な収穫によって、持続可能な限界値は急速に下がって行って、仕舞には破局に至る。

図10の場合か図11のどちらの場合かは、現実には区別しにくい場合もあろうが、現代社会で頻繁に起こっている問題である。このような場合、生産量を増やす事ばかりに躍起にならずに、持続可能な限界を見極め、収穫を減らすことが必用である。しかし残念ながら、世界の現状は、もっと収穫を上げようと（崩壊への努力を）続ける場合の方が多い。共有地の悲劇（多数の者が利用できる「共有資源」を先を争って乱獲することによって、資源の枯渇を招いてしまうという事例）はこの典型例であろう。

このような、行き過ぎから衰退へのパターンの実例は、現在枚挙に暇がない。水産資源にも多くの

例が見られる。その魚の種自体、絶滅危惧種に指定されることになってしまった例も多々ある。その例の一つ見てみる。

図12の、世界におけるニホンウナギの漁獲高は、1950年以前のデータはグラフ化されていないが、1915年から1943年までの漁獲高は、安定的に3000トン程度であった。その時期は、持続可能な限界を越えていない漁獲高であり、安定していたように見えていたが、実はこの期間は、長期間の行き過ぎであったので、その後の衰退が始まったのではないかと推測される。

その後、1985年くらいまで、長期にわたって持続可能な漁獲高の限界を越えて乱獲され続け、持続可能な限界は、下がり続けて衰退して行ったと考え得る。

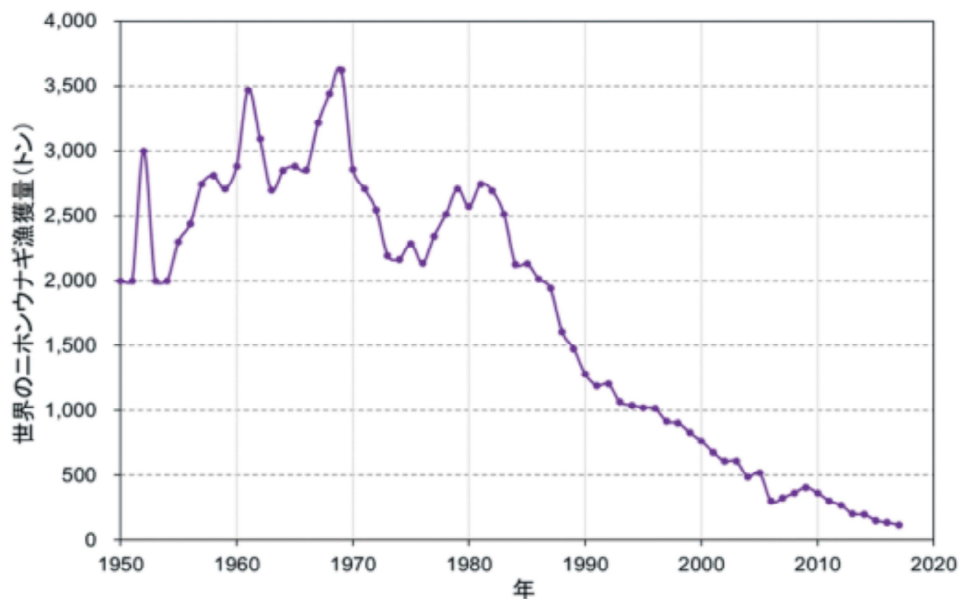


図12 世界のニホンウナギ漁獲高 水産庁水産研究・教育機構 国際漁業資源の現況より
https://www.kokushi.fra.go.jp/R03/R03_82S_ELJ.pdf

この、ニホンウナギの漁獲高は1981年のピークを最後に年々減っている（2006年から3年間ほどはやや増加に転じたかのように見えたが続かなかった）。そして、2014年からは、国際自然保護連合 (IUCN) により、絶滅危惧種の指定を受けている。その後も衰退は止まらず、ニホンウナギは絶滅の危機に瀕している。この図12のニホンウナギの漁獲高は、図9の日本におけるニホンウナギの稚魚の採捕量とも密接な関係があると考えられる。

6. 総括と提言

持続可能な限界を越えるオーバーシュートは、現代社会のさまざまな場で、さまざまな事柄に関して、さまざまな形で起こっている。その中で、漁業や森林と言う自然の恵みである生物系の資源に限定して考察してきた。オーバーシュート状態が続くと、その後反動として衰退が起こる。ここが化学平衡とは全く違う点である。化学平衡は、平衡点を越えたとしても、それぞれの物質の量によって平衡点の位置が決まるが、持続可能な限界は、それを超えれば超えている間中下がっていくのである。オーバーシュートで負荷となる程度・時間が大き過ぎる場合には、衰退から破局へと進行する。実際人間が犯してきたオーバーシュートによって、多くの生物が絶滅してきた過去がある。この、種の絶滅

の危機に至る可能性のあるオーバーシュートは避けなければならない。

オーバーシュートを防ぐ方法は、大きく2つ考えられる。一つは科学技術の進歩で持続可能な限界を上げる方法、そしてもう一つは、収穫量を制限して増やさない、若しくは減らして、持続可能な限界を越えないようにする方法である。

この2つの方法のうち、近年は、科学技術で限界を引き上げる方法が優先して行われてきた。科学技術で解決可能、若しくは解決して増収したいと考えている人が多いからであろう。しかしその方法には大きなリスクが内在する。科学技術によって限界を上げて、指数関数的に増加する生物の増加では、直ぐに限界に達してしまう。更にその限界を新たな科学技術で上げたとしても、再び、指数関数的増加によって直ぐにその限界に達してしまう。それをイタチごっこのように何度か繰り返したとしても、科学技術で限界値を上げ続けることは不可能であるので、増産を続けようとするれば、結局はオーバーシュート状態となり、その後、衰退モードに陥る事となる。このとき、限界値が上げられてきた分だけ、高いところからの落下になるので、衰退の衝撃はより大きくなり、破局に至る可能性も高くなる。

科学技術の方法によるもう一つのリスクは、持続可能な限界を上げたとしても、どこまで上げられるかが、はっきりわからない点である。つまり、限界を上げたからまだ限界の下にいと安心して、実は限界を越えてしまって、オーバーシュート状態が続いているのかも知れないという事である。それ故、突然制御不能な衰退を始める可能性もある。実際人類は、昔からそのような状況に陥って、破局に至るような事を、何度も繰り返してきた。過去の具体的なオーバーシュートの原因としては、過伐採や家畜の土壌浸食による砂漠化、動植物の獲り過ぎによる食料不足などさまざまである。メソポタミア文明、エジプト文明、インダス文明、イースター島、ヴィンランド、ノルウェー領グリーンランド...など、古代文明の多くが、オーバーシュートしたことを見逃して、崩壊がはじまって、ついには破局に至り、滅んでしまったと考えられる。「文明の前に森林があり、文明の後に砂漠が残る」という言葉もある。

そもそも、科学技術によって引き上げられた持続可能な限界値は、そのまま限界値を高い位置に保ち続ける事が可能かどうかはかなりあやしい。常に何かを投入し続けなければ、限界値は下がって、元に戻って仕舞う可能性もある。元に戻るどころかオーバーシュートしてしまって限界値がさらに下がってしまう科学技術も多い。現代農業の農薬や化学肥料の投入はその典型例であろう。「ドーピング状態」とも言えよう。そしてさらに、科学技術は環境汚染など別なりリスクも生み出してきた。科学技術盲信は危険である。

もう一つのオーバーシュートを回避する方法、すなわち収穫量を制限して増やさない、若しくは減らす方法のほうがより確実で安全である。既に持続可能な限界をかなり越えてしまって減衰段階に入ってしまったとしても、我慢して収穫を減らし続ければ、破局を回避できる可能性も高い。図8の大西洋のタラの場合も、持続可能な限界を越えていた期間が長く、その為持続可能な限界がかなり下がってしまい、振動しながら衰退の一途を辿っていた。しかし、長い期間にわたって漁獲を厳しく制限禁止することによって、ついに減少傾向を脱し増加に転じている。この方法のもう一つ非常に優れた点は、大したコストもかからず、エネルギーも資源の投入も必要がないという点である。何もしないで放置するという方法は、オーバーシュート対策として、ある意味究極の対処法と言えるであろう。ここで敢えて、更に科学技術を利用する事を考えるならば、生物資源（バイオマス）をいかに効率的に無駄なく使うかという方法を研究開発する事である。これからの科学技術の向かう一つの指針であると考えている。

結論として、オーバーシュートによる衰退、破局を防ぐ方法のうち、科学技術によって持続可能な限界値を上げる方法自体、オーバーシュートしてしまったかも知れないリスクがある。収穫量を着実に持続可能な限界値以下に押さえておくことの方が有効で確実な方法であると言える。

7. 後記

本論考は、森林、魚介類など、主に自然の恵みによる生物資源が、持続可能な限界に近づいたときの振る舞い、更には行き過ぎたときの振る舞いを、成長の限界3部作（参考文献 [1] [2] [3]）で用いられている4種類のパターン、図2、図3（図1）、図6、図10に、新たに細かく3種類のパターン、図4、図7、図11を独自追加して考察した論考である。オーバーシュートの実例のデータとして用いた水産資源は、最近かなり減少していると思ってはいたが、想像以上に厳しい現実があった。データの選択に当たって、減少している例として使える魚の種は何種類もあり、絶滅危惧種に指定されるに至った種も少なからずあった。この、魚など生物（資源）の減少に対して、多くの人々に危機感を持って向き合って欲しいと思う。担当させて頂いている「地球環境の科学」の講義でも学生に伝え、共に考えて行きたいと考える。

8. 参考文献 (Webサイトを含む)

参考文献として主要な順に並べた。特に主要な参考文献は[1],[2],[3],[4]の4点である。

- [1] 成長の限界 [The Limits to Growth 1972] ダイヤモンド社
- [2] 限界を超えて [Beyond The Limits 1989] ダイヤモンド社
- [3] 成長の限界・人類の選択 [Limits to Growth the 30-year update 2004] ダイヤモンド社
※以上成長の限界三部作[1] [2] [3]の著者は全て
Donella H.Meadows , Dennis L. Meadows , Jorgen Randers である。
- [4] 近藤恭彦 (2017) 成長関数 [Logistic Function]と成長の限界
エントロピー学会誌第78号 p37~52 2017年1月
- [5] 総務省 我が国における総人口の長期的推移
https://www.soumu.go.jp/main_content/000273900.pdf 2024年1月1日参照
- [6] The science of sustainable seafood,explained Atlantic Cod: the Good, the Bad, and the Rebuilding
<https://sustainablefisheries-uw.org/atlantic-cod-part1/> 2024年1月1日参照
- [7] 水産庁 水産研究・教育機構 令和3年国際漁業資源の現況
<https://kokushi.fra.go.jp/genkyo-R03.html> 2024年1月1日参照
- [8] ジャレド・ダイヤモンド [Jared Diamond 2005]
文明崩壊 [COLLAPSE : How Societies Choose to Fail or Succeed] 上 草思社
- [9] ジャレド・ダイヤモンド [Jared Diamond 2005]
文明崩壊 [COLLAPSE : How Societies choose to Fail or Succeed] 下 草思社
- [10] 槌田敦 (1982) 資源物理学入門 日本放送出版協会
- [11] 槌田敦 (1992) 熱学外論 ―生命・環境を含む開放系の熱理論― 朝倉書店
- [12] 河宮信郎 編著 (2010) 成長停滞から定常経済へ 持続可能性を失った成長主義を超えて
中京大学経済学部附属経済研究所
- [13] エントロピー学会編 [責任編集：井野博満・藤田佑幸] (2001) 「循環型社会」を問う
藤原書店

謝辞

成長の限界[The Limits To Growth]シリーズ3部作を読んで以来、長い間持続可能な限界付近での振る舞いに関心を持っており、「成長関数と成長の限界」という論考を書き上げました。本学で2022年度から新たに開講された「地球環境の科学」の講義を担当させて頂いたのを機に、更にオーバーシュートに関して論考を書いてみようと考えました。講義でオーバーシュートの事に触れたのはほんの少しだけでしたが、学生からの正のフィードバックがあり、論考を書くモチベーションとなりました。フィードバックを下さった学生達と、講義の機会と論考を書く機会を下さった会津大学短期大学部に深く感謝致します。この論考の内容を、数式などを省いて簡潔に分かり易くまとめ直して、授業で学生達に還元したいと考えております。