

HEP を用いた干潟の順応的管理における評価手法の検討

Study on an Evaluation System in Adaptive Management of Tidal Mud Flats Using HEP

久喜 伸晃
KUKI, Nobuaki

概要：本研究は、干潟の順応的管理における HEP を用いた生態系の定量的評価を実施するための課題を明らかにするとともに、HEP を用いた干潟の順応的管理における評価手法を提案することを目的としている。ケーススタディとして、広島県尾道系崎港における自然干潟と造成された人工干潟を対象にアサリの HSI モデルを構築し、HEP による比較評価を実施した。その結果、当該地区の人工干潟がアサリに対して比較的良好なハビタットを提供していることが明らかになった。また、人工干潟の造成といった自然再生事業の順応的管理に HEP を用いることは、順応的管理における必要なアクションを具体化するため、経済的かつ効率的な事業の実施が可能になることが示唆された。

Summary: This research is aimed at clarifying the issues for enforcing the quantitative evaluation of ecosystems in adaptive management of tidal mud flats with HEP, and to propose an evaluation system of adaptive management of tidal mud flats using HEP. The HSI model of *Ruditapes philippinarum* was constructed and natural and artificial tidal mud flats in Onomichi-Itozaki Port, Hiroshima, were evaluated using HEP. As a result, it became clear that artificial tidal mud flats are providing *Ruditapes philippinarum* with a relatively good habitat. Furthermore, using HEP in the adaptive management of nature restoration projects effective in encouraging the possibility of many economical and efficient projects by clarifying the specific action for adaptive management.

キーワード: HEP・HSI モデル・順応的管理・生態系評価・人工干潟・自然再生

Keywords: HEP, HSI Model, Adaptive Management, Ecosystem Evaluation, Artificial Tidal Mud Flat, Nature Restoration

1. 背景と目的

1999 年に施行された環境影響評価法では、評価項目に生態系が加えられ、ミティゲーションが明確に位置づけられた。生態系への影響に対するミティゲーションにおいては、悪影響をいかに回避・低減・代償したかを定量的に示す評価手法が必要である（田中，2000a，2000b）。また、2003 年に自然再生推進法が施行され、順応的管理（Adaptive Management）による自然再生事業の動きが盛んになっているが、その効果的な実施には、明確な目標設定や成功基準の設定を可能とする生態系評価手法を導入することが求められる（田中，2002）。

このように近年わが国では、生態系の定量的な評価手法の整備が急務となっており、特に米国で開発された定量的な生態系評価手法である HEP（Habitat Evaluation Procedure）が注目されている。HEP のメカニズムについては田中（1998）が詳しいが、主な特徴としては、生態系を野生生物のハビタットとして「質」、「空間」および「時間」という視点から捉え、複数の対象を比較評価するものである。

以上のようなニーズから、最近、日本への HEP 導入に向けた研究が盛んになっているが、その内容は HSI モデルの構築や、HSI 算出等に留まっており、HU や累積的

HU 算出に踏み込んだ既往研究は十分行われていない（久喜ら，2004）。しかしながら、実際の事業で HEP を適用するためには、あらかじめ HU や累積的 HU 算出に踏み込んだ事例検討を十分に実施し、HEP 導入に際しての課題を明らかにしておく必要がある。

そこで本研究ではこれらの背景と、自然再生事業の実施に際しては、順応的管理（Adaptive Management）の導入が求められるようになっている（海の自然再生ハンドブック，2003）ことを踏まえ、造成された人工干潟と自然干潟を対象に HEP を用いた比較評価を行うこととした。そして、順応的管理による人工干潟の造成事業（計画、施工、維持管理）に HEP を適用する際の課題を明らかにし、HEP を用いた干潟の順応的管理における評価手法を提案することを目的とした。

なお本研究は、国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所の協力により、「干潟の生態系評価手法に関する調査」の受託研究の一環として実施した。この場を借りてお礼申し上げます。

2. 研究方法

ケーススタディにおける評価対象地は広島県尾道系崎港の人工干潟である百島地区（1984 年～1987 年造成）、海老地区（1988 年～1989 年造成）、灘地区（1996 年造成）

この研究の一部は、環境アセスメント学会の 2005 年度研究発表会において発表した。

および自然干潟である福田港地区とした(図1)。

研究は、HEPの手順に沿って実施し、まず文献調査に現地調査(2004年11月18日に実施)の結果を加味して、アサリ(*Ruditapes philippinarum*)のHSIモデルを構築し、HEPによる干潟の比較評価を実施することとした。そして、その過程を通じて課題を抽出しHEPを用いた順応的管理に関する検討を行った。

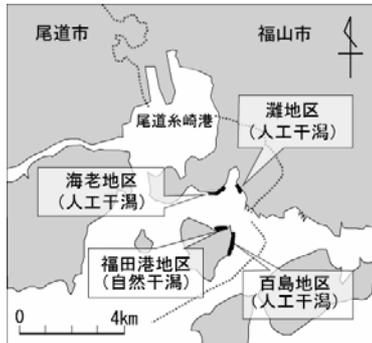


図1 評価対象干潟位置図

3. アサリのHSIモデル構築とHEPの実施

3-1. アサリのHSIモデル構築

1) ターゲット種の選定

比較評価対象地である尾道系崎港における人工干潟は、その造成の目的のひとつにアサリ漁場の確保があげられている。また、アサリは、干潟の生態系を代表する二枚貝であり、海水浄化機能に優れている(風呂田,1996、佐々木,2001)。そのため本研究では、人工干潟をアサリのハビタットとして評価することが望ましいと考え、アサリをHSIモデル構築のターゲット種として選定した。

2) ハビタット変数の選定

HSIモデルの構築は、既存のHSIモデルや、ターゲット種の生態に関する既往研究を参考に構築することが一般的である。本研究では、そのような既往研究を踏まえたが、評価対象地で実施されているモニタリングデータの項目や量に不足があったことを考慮し、データが比較的確保されている項目からハビタット変数を選定する方法をとった。その結果、HSIからハビタット変数までの関係を図2のように整理し、ハビタット変数として中央粒径、強熱減量、含泥率、地盤高を選定した。

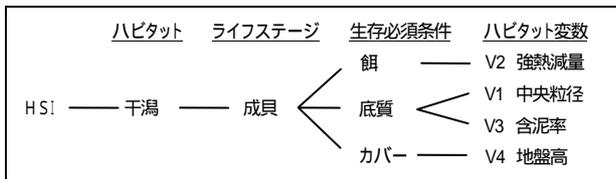


図2 アサリHSIモデルにおけるHSIからハビタット変数までの関係

3) 各SIモデルの構築

SIモデルは、主に高橋ら(1986)による知見をもとに、尾道系崎港のモニタリングデータ結果を考慮して構築した(図3)。

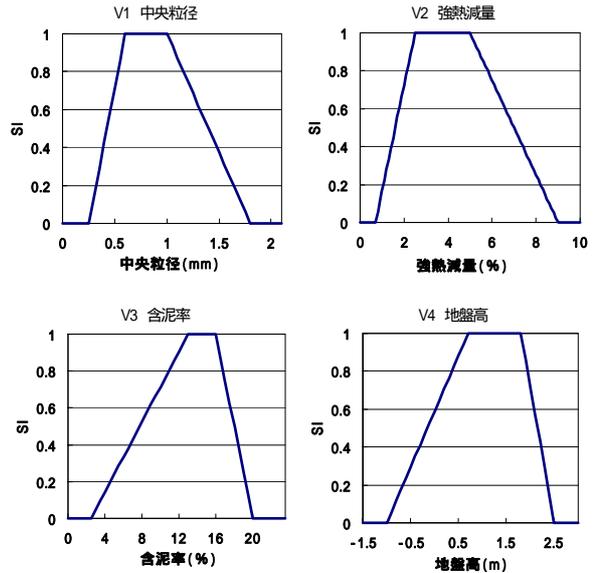


図3 アサリの各ハビタット変数におけるSIモデル

注)中央粒径におけるSIモデルでは、中央粒径が0.256mm以下をSI=0、0.601mm~1.000mmをSI=1、1.800mm以上をSI=0とした。強熱減量におけるSIモデルでは、強熱減量0.0%~0.7%をSI=0、2.5%~5.0%をSI=1、9.0%以上をSI=0とした。含泥率におけるSIモデルでは、含泥率0%~2.3%をSI=0、13.0%~16.2%をSI=1、20%以上をSI=0とした。地盤高におけるSIモデル(V4)は、DL(基本水準面)を基準(0)とし、DLからの高低差として地盤高を示した。地盤高におけるSIモデルでは、DLからの高さが-1.0m以下をSI=0、0.7m~1.8mをSI=1、2.5m以上をSI=0とした。

4) HSIモデル結合式の設定

中央粒径、強熱減量、含泥率、地盤高の4項目は、アサリのハビタットの内容としては共に等しく重要な環境要因である。そのため、どれかひとつでも「不適」(SI=0)である場合、ハビタットとしても「不適」(HSI=0)になると判断し、HSI結合式には式1を採用した。

$$HSI = \text{強熱減量におけるSI} \times \text{中央粒径におけるSI} \times \text{含泥率におけるSI} \times \text{地盤高におけるSI} \dots (式1)$$

3-2. HEPの実施

1) HEP実施において必要なデータの収集整理

HEPの実施には、評価対象地の環境要因や面積のデータが必要である。本ケーススタディでは、データに欠けが多くあり、その場合には予測し推算した値を用いた。なお各干潟の面積は推算の結果、百島地区は17.80ha、海老地区は10.00ha、灘地区は3.06haとした。自然干潟である福田港地区は「平成16年度尾道系崎港干潟における生物生息状況調査報告書」より4.00haとした。

2) SIによる比較評価

2004年における各干潟の中央粒径、強熱減量、含泥率、および地盤高におけるSIを算出した(表1)。

ここで、例えば中央粒径に注目すると、百島地区ではアサリのハビタットの条件の一部としては、十分良好な状態と考えられるが、その他の地域では必ずしも良好な状態とはいえず、特に福田港地区では4地区のうち最も悪い状態となっていることが明らかになった。

表1 2004年の各干潟における各SI

	百島地区	海老地区	灘地区	福田港地区
SI1(中央粒径)	1.00	0.73	0.38	0.11
SI2(強熱減量)	0.89	0.56	1.00	0.39
SI3(含泥率)	0.96	0.96	1.00	0.26
SI4(地盤高)	1.00	1.00	0.96	1.00

3) HSI による比較評価

2004 年における各干潟の HSI の値を算出した（表 2）。特に百島地区がアサリのハビタットの質として良い状態が形成された干潟であることが明らかになった。逆に、海老地区および灘地区は改善の余地があり、HSI を高めるようなメンテナンスを実施していくことが望まれる。例えば、灘地区に注目すると中央粒径における SI のみが特に低く、中央粒径の状態を改善することで全体としての「質」（HSI）も大幅に改善されることが予測できる。

表 2 2004 年の各干潟における HSI

	百島地区	海老地区	灘地区	福田港地区
HSI	0.85	0.39	0.36	0.01

4) HU による比較評価

2004 年における各干潟の HU の値を算出した（表 3）。HU は、当該地区の HSI と面積を乗じることで算出され、その瞬間の当該地区のハビタットを示す指標である。

HU 算出の結果、2004 年という瞬間におけるアサリのハビタットとしては最も優れているのは、百島地区であり、次いで海老地区、灘地区、福田港地区の順であった。

また、海老地区および灘地区は、HSI 段階ではそれぞれ 0.39HSI および 0.36HSI であり、ハビタットの「質」としてはほぼ同じ状態であることが示されたが、HU 段階ではそれぞれ 3.92HU および 1.12HU となり、ハビタットとしては海老地区の方が灘地区の 3 倍以上も優れていることが示された。HU の値を高めるには、「質」を向上させるか、より大きな「空間」を確保する必要がある。

表 3 2004 年の各干潟における HU

	百島地区	海老地区	灘地区	福田港地区
HU	15.21	3.92	1.12	0.04

5) 累積的 HU による比較評価

1983 年から 2004 年における各干潟の累積的 HU を算出した（表 4）。累積的 HU は評価期間における当該地区の HU の積分値として算出され、当該地区のハビタットがどのくらいの期間において成立しているかを加味した総合的な比較評価を可能にする。

累積的 HU 算出の結果、1983 年から 2004 年の期間におけるアサリのハビタットは百島地区が圧倒的に高く、次いで海老地区、福田港地区、灘地区の順になった。これは、HU の大きさに起因していることもあるが、それぞれの干潟が存在している期間にも大きく影響を受けており、長期にわたってハビタットを提供してきた事実やその効果が適正に示されている。

表 4 1983 年から 2004 年における各干潟の累積的 HU

	百島地区	海老地区	灘地区	福田港地区
累積的 HU	124.48	48.95	5.63	23.23

6) ネットゲインによる比較評価

1983 年から 2004 年におけるネットゲインを算出した（表 5）。本ケーススタディにおけるネットゲインは、人

工干潟を造成した場合と、人工干潟を造成しなかった場合の累積的 HU の差として求められ、その事業による生態系の改善効果を定量的に示すことができる。

1983 年から 2004 年における人工干潟造成事業によるネットゲインの算出をしたところ、百島地区では人工干潟造成により比較的高い効果を得ているが、灘地区においては高い効果が得られていないことが明らかになった。

表 5 1983 年から 2004 年における事業実施によるネットゲイン

場合 (干潟造成の有無)	百島地区		海老地区		灘地区		福田港地区	自然干潟
	有り	無し	有り	無し	有り	無し		
HU 1983 年 TY0	1.12	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00		1.23
2004 年 TY21	15.21	0.00	3.92	0.00	1.12	0.00		0.04
累積的 HU	124.48	2.80	48.95	0.00	5.63	0.00		23.23
ネットゲイン		121.68		48.95		5.63		

注)人工干潟の造成をしなかった場合の累積的HUは、環境要因や面積の変動を予測して推算した。なお、HU算出の目標年であるTY(ターゲットイヤー)は地区ごとに3-4点設定したが、本表ではTY0とTY20のみを抜粋し、他のTYについては省略して示した。

4. HEP を用いた干潟の順応的管理の提案

4-1. 自然再生事業における HEP を用いた比較評価タイプの検討

HEP を用いて干潟造成など自然再生事業を評価する際、どの対象を、どのように評価するかという視点に立つことで、複数の比較評価タイプが可能になることが明らかになった（表 6）。HEP による評価は複数の対象を比較評価するものであるが、表 6 はその基本形として 2 つの対象における比較評価タイプとしてまとめたものである。

なお、本ケーススタディで行った比較評価は表 6 で示すところのタイプ 1 の比較評価であり、人工干潟造成後の事後評価として実施したものに当たる。HEP ではこのような事後評価だけでなく、環境要因や面積の変動を予測することで事前評価をすることも可能であり、目標設定をする際にはそのような事前評価が効果的に機能する。

表 6 人工干潟造成等の自然再生事業における HEP を用いた比較評価のタイプ

タイプ	どの対象を評価するか			どんな評価をするか			比較評価の概要	用いる指標
	場所	時	場合	質	空間	時間		
1 A	異なる	同じ	同じ	SI	点	瞬間	ある同じ瞬間の、異なる 2 つの点における、ハビタットの 1 部について比較評価する。	SI
1 B	異なる	同じ	同じ	HSI	点	瞬間	ある同じ瞬間の、異なる 2 つの点における、ハビタットについて比較評価する。	HSI
1 C	異なる	同じ	同じ	HSI	面	瞬間	ある同じ瞬間の、異なる 2 つの地域全体における、ハビタットについて比較評価する。	HU
1 D	異なる	同じ	同じ	HSI	面	期間	ある同じ瞬間の、異なる 2 つの地域全体における、ハビタットについて比較評価する。	累積的 HU
2 A	同じ	異なる	同じ	SI	点	瞬間	ある同じ点の、異なる 2 つの瞬間における、ハビタットの 1 部について比較評価する。	SI
2 B	同じ	異なる	同じ	HSI	点	瞬間	ある同じ点の、異なる 2 つの瞬間における、ハビタットについて比較評価する。	HSI
2 C	同じ	異なる	同じ	HSI	面	瞬間	ある同じ地域全体の、異なる 2 つの瞬間における、ハビタットについて比較評価する。	HU
2 D	同じ	異なる	同じ	HSI	面	期間	ある同じ地域全体の、異なる 2 つの期間における、ハビタットについて比較評価する。	累積的 HU
3 A	異なる	異なる	同じ	SI	点	瞬間	異なる 2 つの瞬間の、異なる 2 つの点における、ハビタットの 1 部について比較評価する。	SI
3 B	異なる	異なる	同じ	HSI	点	瞬間	異なる 2 つの瞬間の、異なる 2 つの点における、ハビタットについて比較評価する。	HSI
3 C	異なる	異なる	同じ	HSI	面	瞬間	異なる複数の瞬間の、異なる 2 つの地域全体における、ハビタットについて比較評価する。	HU
3 D	異なる	異なる	同じ	HSI	面	期間	異なる複数の瞬間の、異なる複数の地域全体における、ハビタットについて比較評価する。	累積的 HU
4 A	同じ	同じ	異なる	SI	点	瞬間	異なる 2 つの場合の、同じ瞬間かつ同じ点におけるハビタットの 1 部について比較評価する。	SI
4 B	同じ	同じ	異なる	HSI	点	瞬間	異なる 2 つの場合の、同じ瞬間かつ同じ点におけるハビタットについて比較評価する。	HSI
4 C	同じ	同じ	異なる	HSI	面	瞬間	異なる 2 つの場合の、同じ瞬間かつ同じ地域全体におけるハビタットについて比較評価する。	HU
4 D	同じ	同じ	異なる	HSI	面	期間	異なる 2 つの場合の、同じ瞬間かつ同じ地域全体におけるハビタットについて比較評価する。	累積的 HU

4-2. 干潟の順応的管理における評価手法としてHEPを適用する際の課題および必要事項の整理

HEP を実施するために必要となる具体的なデータは、例えば、すでに存在する干潟の質を維持および向上させることを目的とした順応的管理における評価なのか、それともこれまで累積的に消失し続けてきた干潟に対しての代償ミティゲーションとして捉えた新規の干潟造成事業の順応的管理における評価なのかというように、その評価の目的によっても異なってくるものである。また、本研究では、自然再生事業においてHEPを用いることで様々な評価が可能であることを明らかにしたが、それらの比較評価は、事業や評価の目的に応じて使い分けことが肝要である。そのようなことから、HEPの実施に先立って、あらかじめ評価の目的を明確にしておくことが重要である。

評価目的が異なれば具体的な必要事項はそれに依りて異なるが、HEPの実施において基本的に必要となるデータは比較評価対象地における環境要因データと、その環境要因をもった地域がどの程度広がっているかという面積データである。なお、ここでいう環境要因データとは、HSIモデルの各ハビタット変数のデータを指すものであり、ターゲット種の種類によっては必要となる環境要因データも異なる。

これまでの尾道系崎港での環境現況調査では、調査地点は年ごとに異なり、設定された調査地点の密度にも偏りがある。このように、これまでの調査ではほとんど無秩序に調査地点が設定されていたものと考えられるが、HEPを実施するにあたっての調査地点は、少なくとも評価対象干潟に均一に分布するように設定し、モニタリング地点として、その後に実施する調査でもそれらの地点でデータをとることが必要である。

また調査実施時期は、評価対象地の環境が大きく変動することが予測される年には必ず行うべきである。尾道系崎港では、人工干潟造成後の環境調査は行われているが造成前の環境調査は行われていなかった。造成前の当該地域がどのような環境であったか、その環境要因データや面積データを把握しておくことも必要である。

4-3. HEPを用いた順応的管理における評価手法の提案

順応的管理は「計画（仮説）→実施（実験）→検証（モニタリング）→計画の再設定（フィードバック）」のようなサイクルで実施されるものである（鷲谷・松田，1998）。

図4に、本研究で提案するHEPを用いた干潟の順応的管理における評価手法のシステムを示した。干潟造成の事業プロセスの流れに沿い、モニタリングとフィードバックの仕組みを取り入れた順応的管理手法の中におけるHEPの機能を示すものである。

比較評価対象AおよびBは、事業や評価の目的に応じて様々な対象が当てはめられるが、これは比較評価タイプ（表6）に基づいて選定される。つまり、例えば事業

の実施による、一定期間におけるアサリのハビタットの復元効果に基づいた目標設定や評価による順応的管理を目指すのであれば、比較評価タイプ4-Dに基づく順応的管理が適当である。その際は、比較評価対象AおよびBには、「事業を実施した場合の累積的HU」および「事業を実施しなかった場合の累積的HU」が当てはまり、その比較評価結果に基づき事業が順応的に実施される。

このように自然再生事業の順応的管理においてHEPを適用することは、モニタリングデータから定量的な評価結果を示し、議論のたたき台を提供するため、説明責任の向上や合意形成の促進にも寄与する。さらに、抽象的な目標を具体化し、目標達成のために必要なアクションを明確にするため、より経済的かつ効率的な事業の実施が可能になると考えられる。

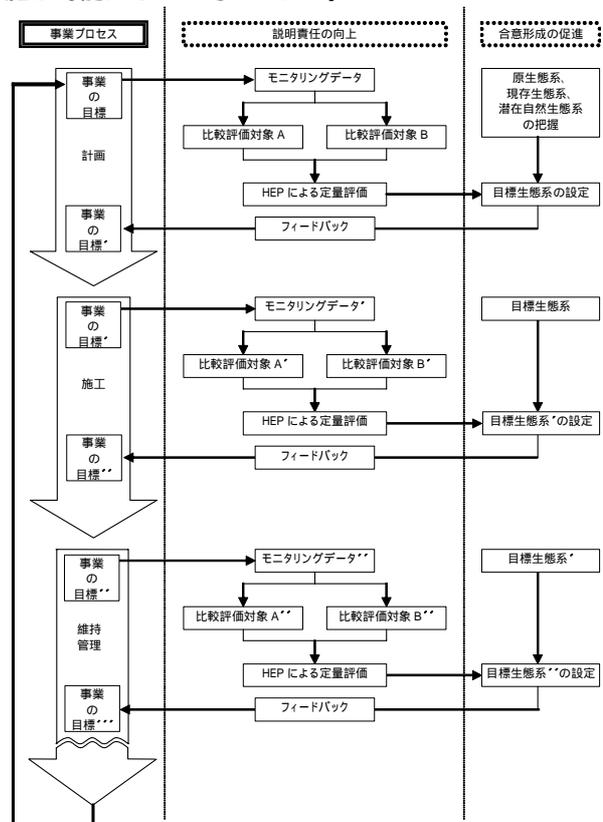


図4 干潟の順応的管理におけるHEPを用いた評価手法システム

注）本フロー図における、原生生態系、現存生態系、潜在自然生態系とは、陸上生態系における原種、現存種、潜在自然種に対応する語として便宜的に用いた。

引用文献

風呂田利夫（1996）、「干潟生態系」、環境、50（7）、p.19-23
 国土交通省中国地方整備局広島港湾空港整備事務所（2004）、「平成16年度尾道系崎港干潟における生物多様性調査報告書」、広島、97pp.
 久喜伸晃・吉沢麻衣子・田中章（2004）「HSIモデルの傾向と今後の課題」、環境アセスメント学会2004年度研究発表会要旨集、45-50
 佐々木亮之（2001）、「アサリの水質浄化の役割」、水圏学会誌、24（4）、p.207-210
 高橋清季・佐藤勝一・渡辺鏡（1986）、「アサリの生態限界に関する実験的検討」、宮城県水産環境研究報告、11、p.44-58
 田中章（1998）「生態系評価システムとしてのHEP」、p.81-96、島津明博ほか編、環境アセスメントここが変わる。環境技術研究会、大阪、432pp.
 田中章（2000a）、「環境アセスメントにおける定量的生態系評価手法—代償ミティゲーションとの関係において—」、国際影響評価学会日本支部第4回研究発表会論文集、p.15-20
 田中章（2000b）、「新しい評価指標—ミティゲーションと生態系評価—」、環境学会誌、13（2）、p.280-281
 田中章（2002）、「何をもちて生態系を復元したいのか？—生態系復元の目標設定とハビタット評価手続きHEPについて—」、ランドスケープ研究、65（4）、p.282-285
 海の自然再生ワーキンググループ（2003）海の自然再生ハンドブック その計画・技術・実践 第1巻総論編、国土交通省港湾局監修、ぎょうせい、東京都、107pp.
 鷲谷いづみ（2002）、「順応的管理とは」、p.190、生物の多様性分野の環境影響評価技術検討会編、環境アセスメント技術ガイド 生態系、財団法人自然環境研究センター、東京、277pp
 鷲谷いづみ・松田治之（1998）、「生態系管理および影響評価に関する保全生態学からの提言（案）」、応用生態工学、1（1）、p.52 - 62