

ウニとコンブの共生を目指した 管理計画に関する数理モデルの提案

6月24日

©川本樹・玉置哲也・末永慶寛

背景

藻場は魚介類の生活の場や酸素の供給、餌場としてなど
生物多様性に貢献している

環境の変化によって、

- ・藻場を構成する海藻の生産
- ・ウニをはじめとした植食生物の食圧

のバランスが崩れて磯焼けが発生してしまう

磯焼け：藻場が季節的消長や多少の経年変化の範囲を超えて著しく衰退し
貧植生状態になる現象

目的

本研究では

- ウニとコンブを対象とした数理モデルの構築
- 最終的に得られる収益を最大化するためのコンブの管理体制
についての分析

を目的とする

既往研究

生態系得られる資源の管理に関する研究

- ・ Skonhoft et al(2010)の牧草と羊の頭数の生態的な持続性
- ・ Martinet and Blanchard(2009)の漁業と自然保護活動の両立

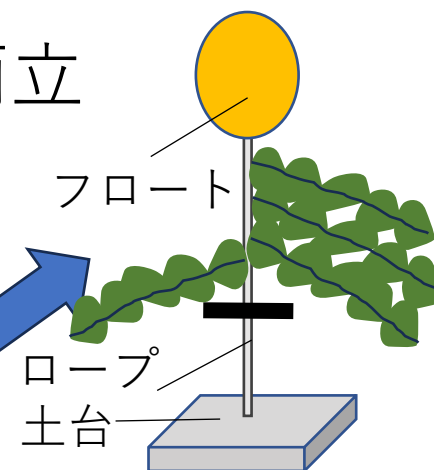
磯焼け対策を行っている事例

- ・ 南里ら(2011)のユニフェンスの設置
- ・ 山下ら(2013)の海中ロープによるコンブの養殖

浮上式基質投入法

- ・ 山本ら(2022)の可動式のコンブの食害回避技術

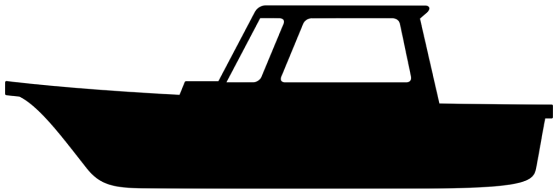
この装置を利用した
管理手法について考える



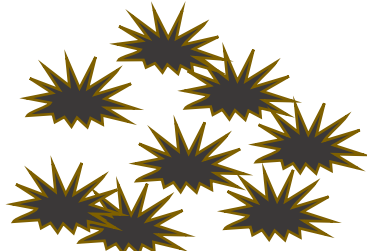
山本ら(2022) 震災海域における海藻とウニの共生技術の開発

1期

漁師



コンブ

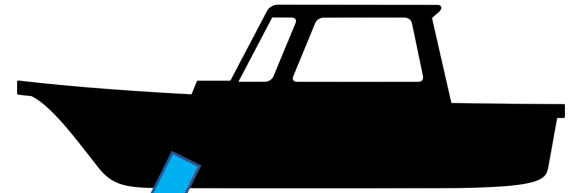


ウニ

ウニによる食害を防ぎ成長させる必要がある

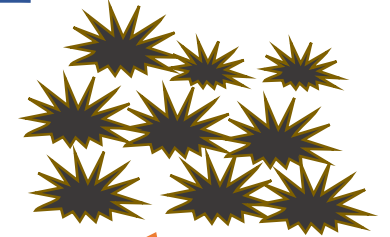


t期

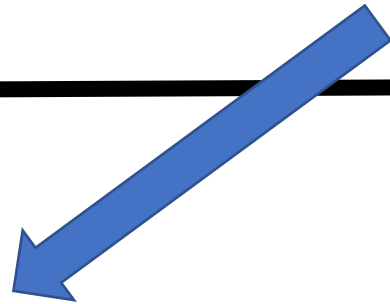


管理

食べる



商品価値を高めるために適度にコンブを食べさせる必要がある

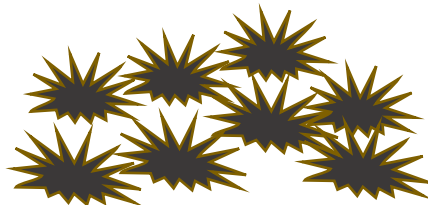
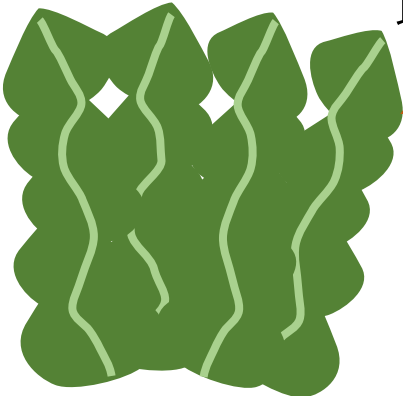


T(t=24)期(最終期)



収穫

収穫



最終期に利益が最大になるように管理・収穫

提案モデルの概要

$$\max \quad \pi = qX(T) + P(T)Y(T) - \sum_{t=1}^T c\mu(t) \quad \dots(1) \quad \left. \vphantom{\max} \right\} \text{総収入を最大化させる}$$

$$\text{s.t.} \quad X(t+1) = X(t) + rX(t) \left[1 - \frac{X(t)}{K} \right] - Q(t)Y(t) \quad \dots(2) \quad \left. \vphantom{\text{s.t.}} \right\} \text{コンブの量に関する式}$$

$$Q(t) = \frac{me^{-\alpha}}{1 - e^{-\alpha}} \left[e^{\alpha(1 - \mu(t))} - 1 \right] \quad \dots(3) \quad \left. \vphantom{Q(t)} \right\} \text{ウニの摂食に関する式}$$

$$P(t+1) = (1 - \delta)P(t) + n - \frac{nb}{Q(t) + b} \quad \dots(4) \quad \left. \vphantom{P(t+1)} \right\} \text{ウニの価値に関する式}$$

$$Y(t+1) = (1 - \gamma)Y(t) \quad \dots(5) \quad \left. \vphantom{Y(t+1)} \right\} \text{ウニの量に関する式}$$

提案モデル

ウニによる収益
コンブによる収益 } 最大化する数理モデルの提案

$$\max \quad \pi = \underbrace{qX(T)}_{\text{コンブによる収益}} + \underbrace{P(T)Y(T)}_{\text{ウニによる収益}} - \underbrace{\sum_{t=1}^T c\mu(t)}_{\text{管理コスト}} \quad \dots(1)$$

q : 単位コンブあたりの価値

c : 食害をコントロールするのにかかる限界費用

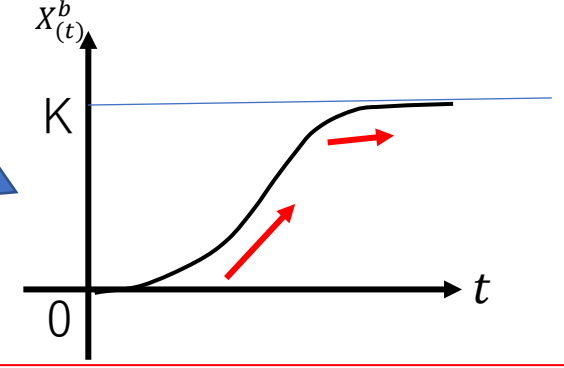
$P_{(t)}$: 単位ウニあたりの価値

コンブの式の説明

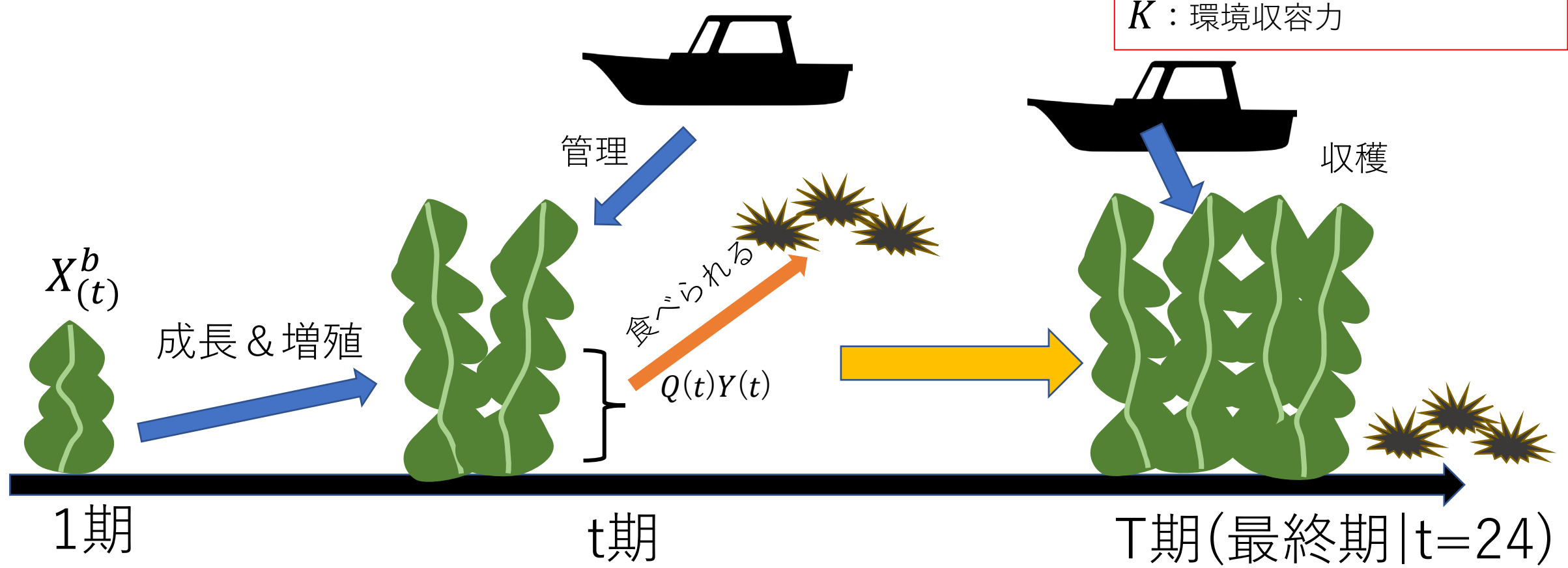
生存できる最大量に近づく

$$X(t+1) = X(t) + \underbrace{rX(t)}_{\text{コンブの増殖}} \left[1 - \frac{X(t)}{K} \right] - \underbrace{Q(t)Y(t)}_{\text{ウニによる摂食}} \dots (2)$$

コンブの量



$X(t)$: コンブの量
 r : 内的自然増加率
 K : 環境収容力



提案モデル

単位ウニあたりの摂食量

$$Q(t) = \frac{me^{-\alpha}}{1 - e^{-\alpha}} \left[e^{\alpha \frac{1 - \mu(t)}{\alpha}} - 1 \right] \quad (Q \geq 0) \dots (3)$$

食圧を管理

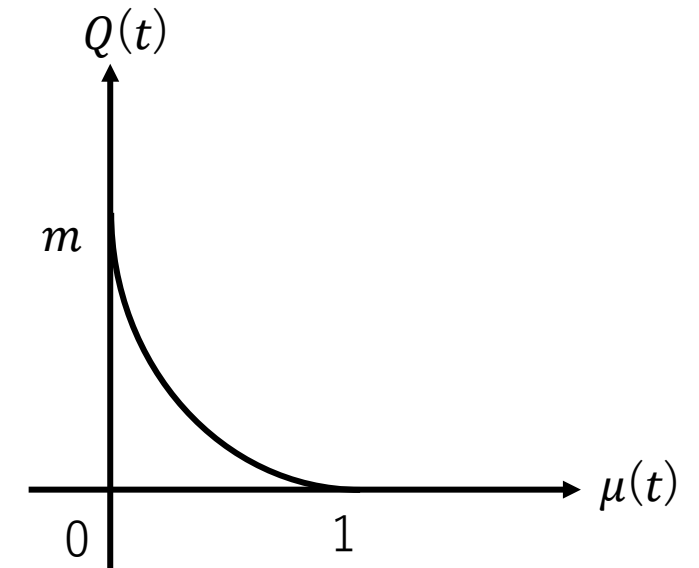
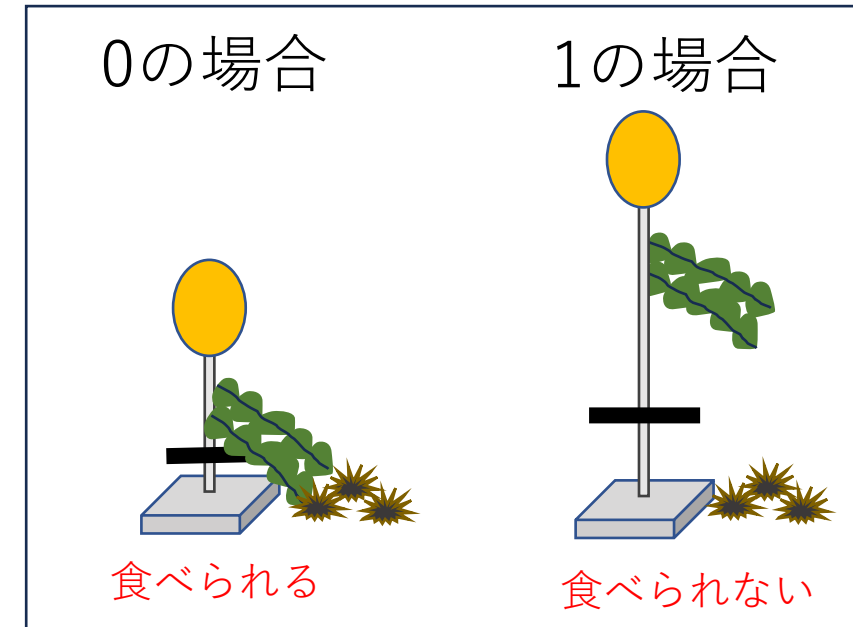
m : 単位ウニあたりの最大摂食量

α : 調節パラメータ

$\mu(t)$: 食圧を管理する変数

→ $[0, 1]$ の区間でコントロール

→ $\begin{cases} 0: \text{食害対策を全くとっていない} \\ 1: \text{最大レベルの食害対策をとっている} \end{cases}$



提案モデル

t+1期における単位ウニあたりの価値

$$P(t + 1) = \underbrace{(1 - \delta)}_{\text{ほっとくと価値が下がる}} P(t) + n - \frac{nb}{\underbrace{Q(t) + b}_{\text{多く食べると価値が上がる}}} \quad \dots(4)$$

δ : 価値減衰パラメータ

n : 調整パラメータ ($0 >$)

b : 調整パラメータ

※ 摂食量が最大(=m)のときの増加量は $\frac{mn}{m+b}$ あり、これは1期あたりの価値増加の上界値

提案モデル

t+1期におけるウニの量を

$$Y(t+1) = \underbrace{(1 - \gamma)}_{\text{ウニの減少}} Y(t) \quad \dots(5)$$

γ : 減少パラメータ

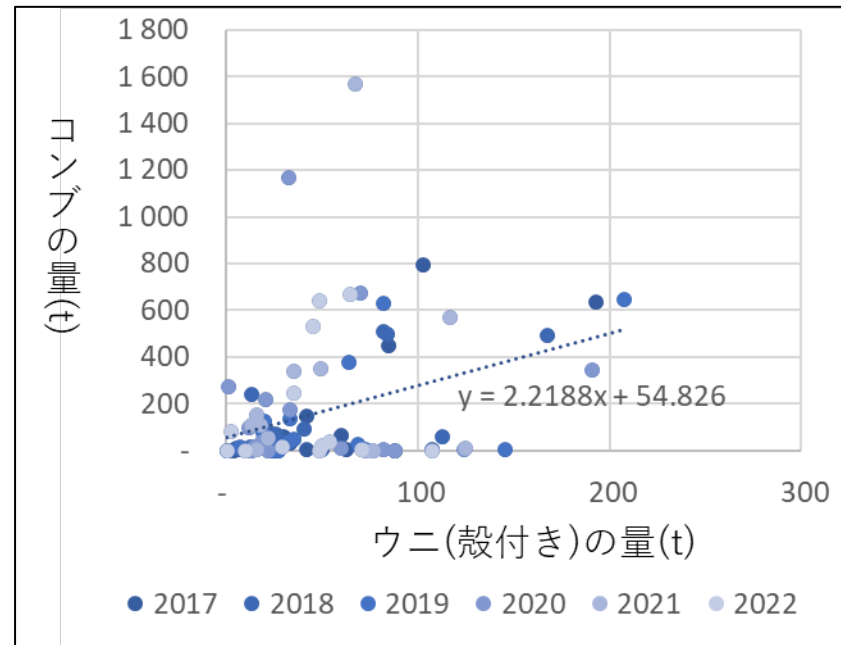
ウニの量は外生変数として考える

↓

1. ウニの価値の変化として表すほうが収益性に着目する観点からも望ましい
2. 天敵によるウニの減少に関しては外生的に与えるほうが有用

各種パラメータの推定

- ・ コンプの量 $X(t)$ およびウニの量 $Y(t)$



ウニとコンプの水揚量

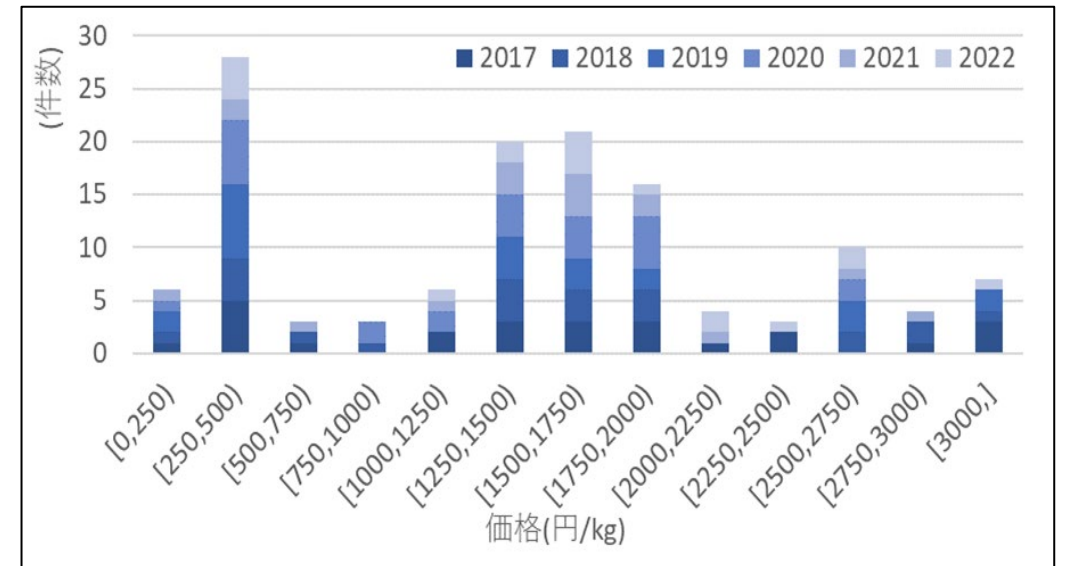
ウニ(殻付)の水揚量に対して平均的に2倍強のコンプの水揚量が得られている
→最終的な収穫時にウニとコンプの重量が**おおよそ40t,100t**となる状況を想定することで各種パラメータの調整を行う

各種パラメータの推定

- ・ コンプの価格およびウニの価格



ウニの卸売価格

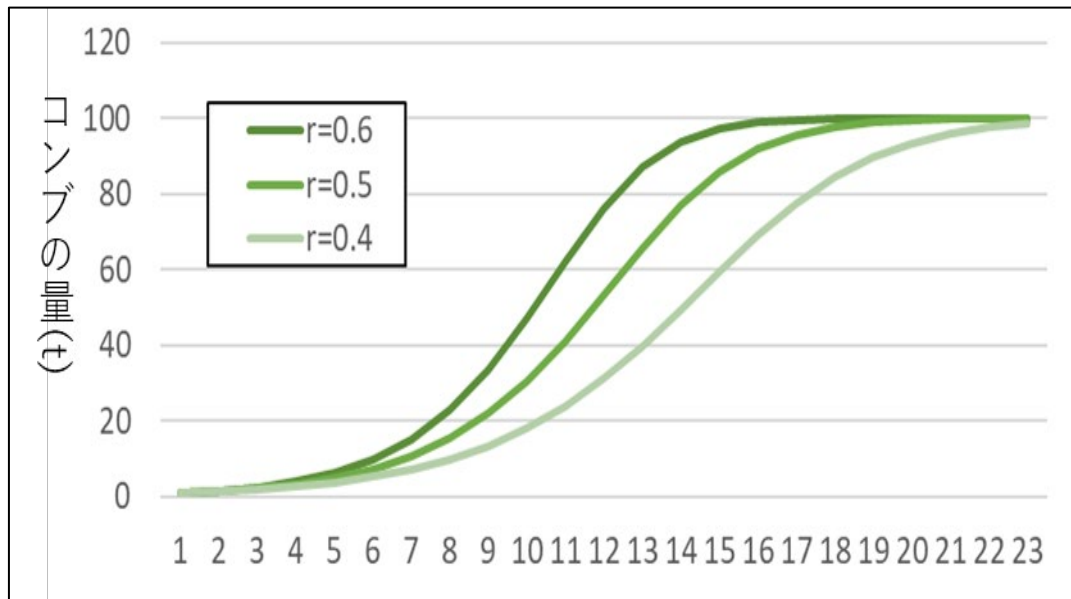


コンプの卸売価格

- ・ コンプの平均卸売価格は1077.9円/kgとなった
- 本モデルではコンプの価格を1000円/kgと固定した
- ・ ウニの価格については摂餌量に応じて100-3000円/kg程度で変動するように各種パラメータの調整を行う

各種パラメータの推定

- 環境収容力 K およびコンブの内的自然増加率 r



コンブの成長の推移

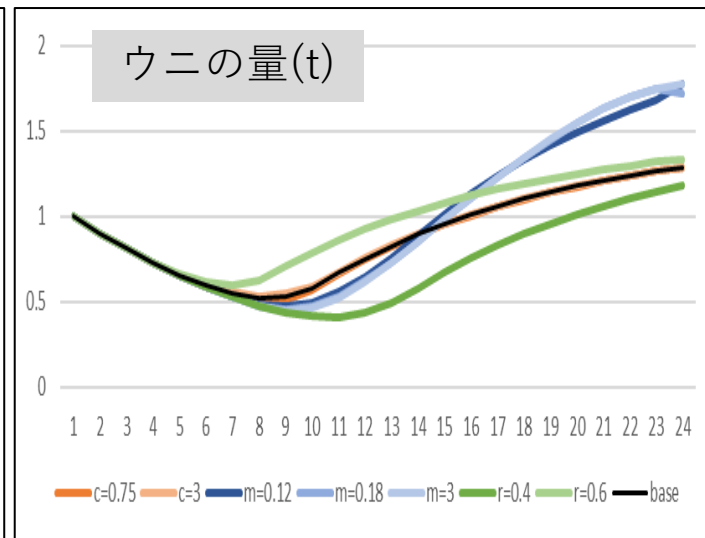
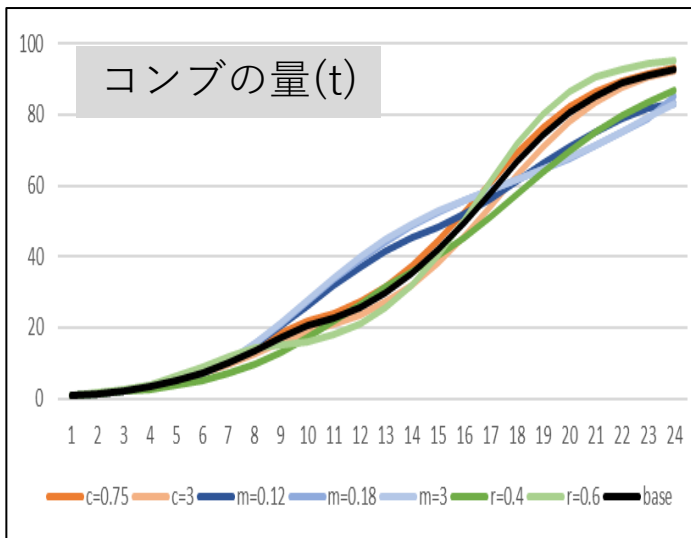
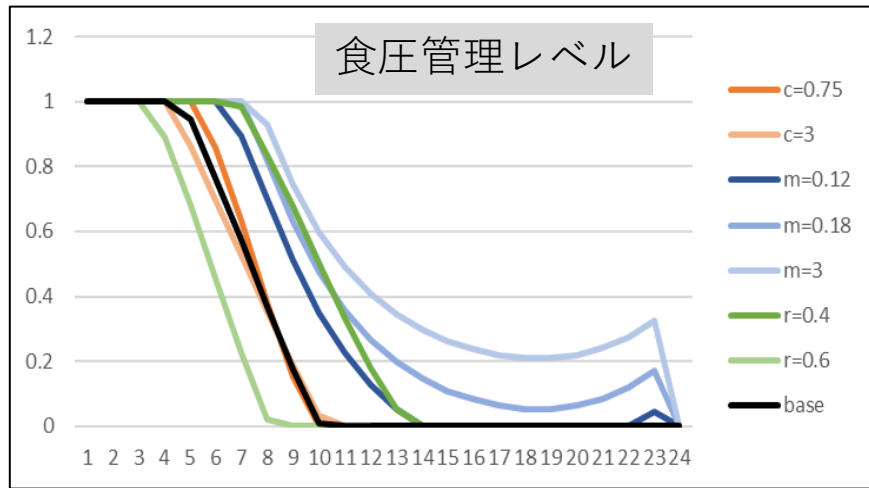
$$X(t+1) = X(t) + rX(t) \left[1 - \frac{X(t)}{K} \right] - Q(t)Y(t) \quad \dots(2)$$

$X(t) > K$ となると負の値となり、
次の期ではコンブの量が減少する

環境収容力 K …コンブが生育する空間的容量→最大収穫量として100tとして考える
内的自然増加率 r …コンブの成長速度を表すパラメータ

→コンブは初夏にかけて成長することから、 $r=0.4, 0.5, 0.6$ とした

数値計算結果(全体的な共通の傾向)



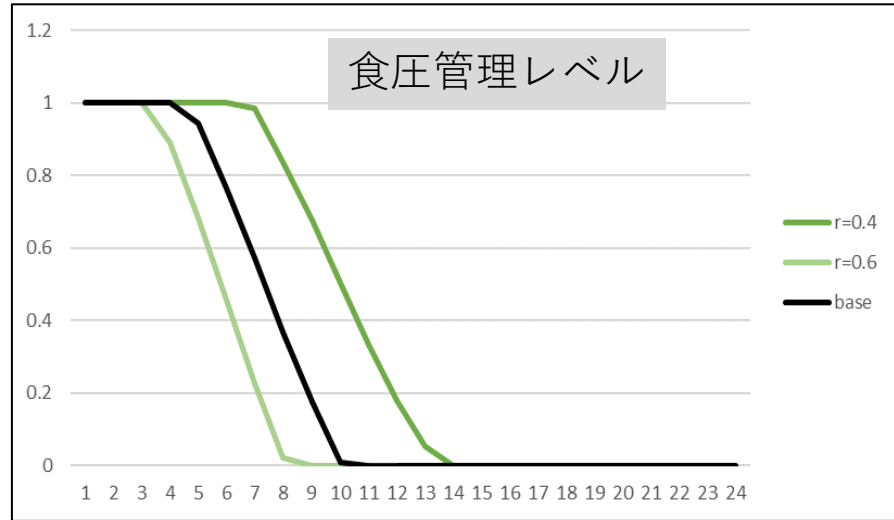
◆ 最終期の収益を最大にするモデルのため
→ 最終期の食圧管理レベルは0となる

◆ 全体的な共通の傾向として
・ コンブが十分に育っていない初期
→ 管理レベルを高く維持し、コンブの成長を促す

・ 十分に育つ見込みが得られた段階
→ 管理レベルを引き下げて、ウニの価値を高める計画が望ましい

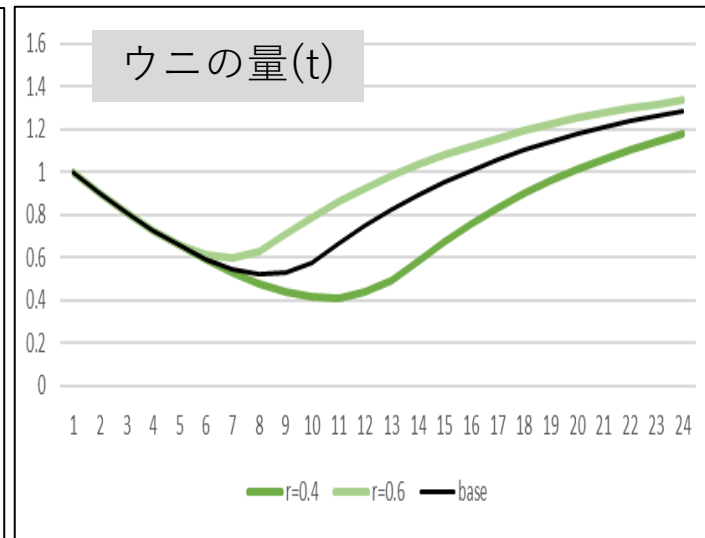
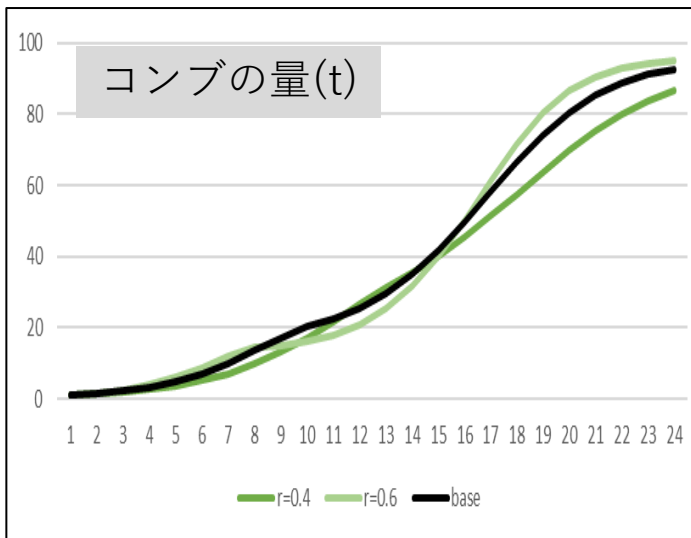
$(c, r, m, q, K, \alpha, n, b, \delta, \gamma, X(0), Y(0), P(0)) = (1.5, 0.5, 0.06, 1, 100, 3, 0.4, 0.1, 0.1, 0.07, 1, 200, 1)$ を基準

数値計算結果(コンブの内的自然増加率を変化させたとき)



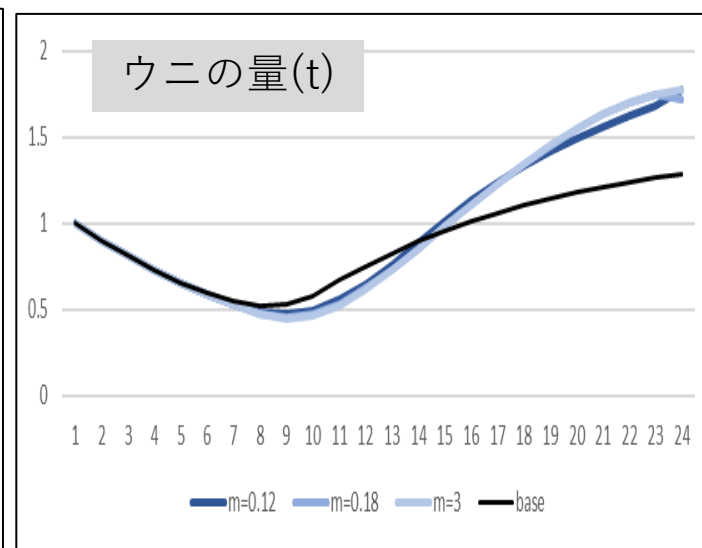
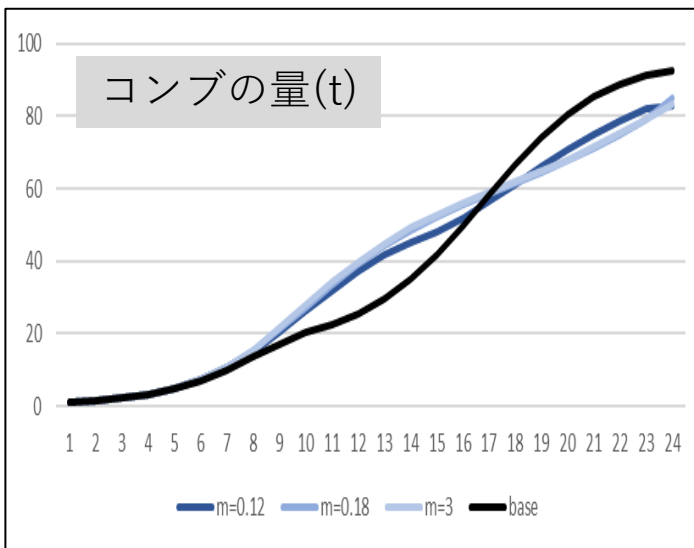
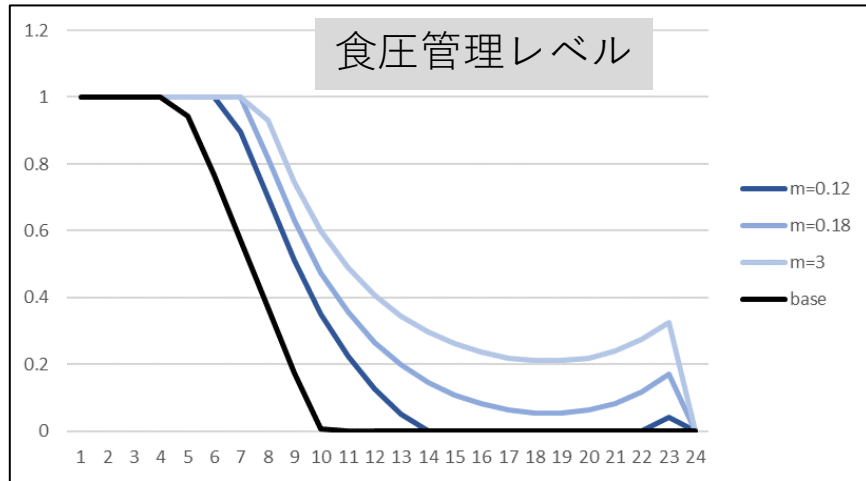
◆ コンブの内的自然増加率

- ・ 小さい場合
→ コンブの成長速度が緩やかなため、管理レベルを下げる時期が遅くなる
- ・ 大きい場合
→ 成長速度が速いためより早い段階で管理レベルを引き下げることが可能となる



($c, r, m, q, K, \alpha, n, b, \delta, \gamma, X(0), Y(0), P(0)$) =
(1.5, 0.5, 0.06, 1, 100, 3, 0.4, 0.1, 0.1, 0.07, 1, 200, 1) を基準

数値計算結果(最大摂食量を変化させたとき)



◆ 最大摂食量

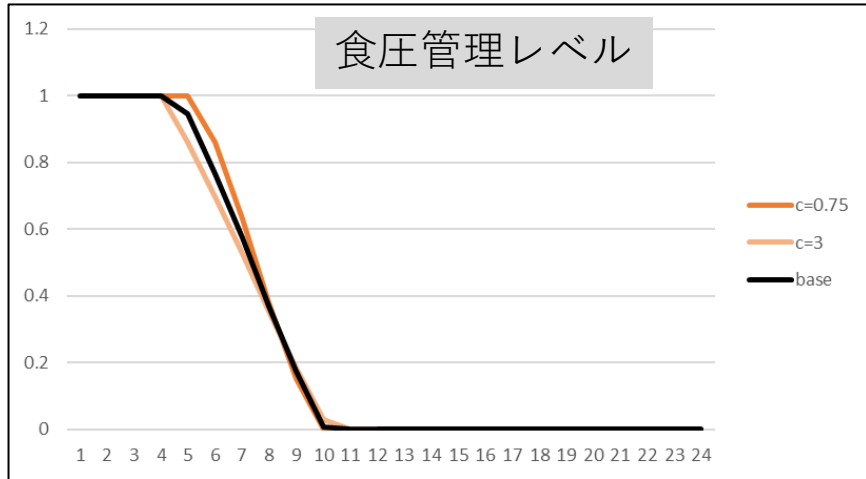
- 管理レベルを引き下げる時期が遅くなる

- 管理を厳しく保つほうが望ましくなる

- 最終期付近では管理レベルを再度引き上げ、コンブを増やす動きとなる

$(c, r, m, q, K, \alpha, n, b, \delta, \gamma, X(0), Y(0), P(0)) = (1.5, 0.5, 0.06, 1, 100, 3, 0.4, 0.1, 0.1, 0.07, 1, 200, 1)$ を基準

数値計算結果(食圧管理の限界費用を変化させたとき)

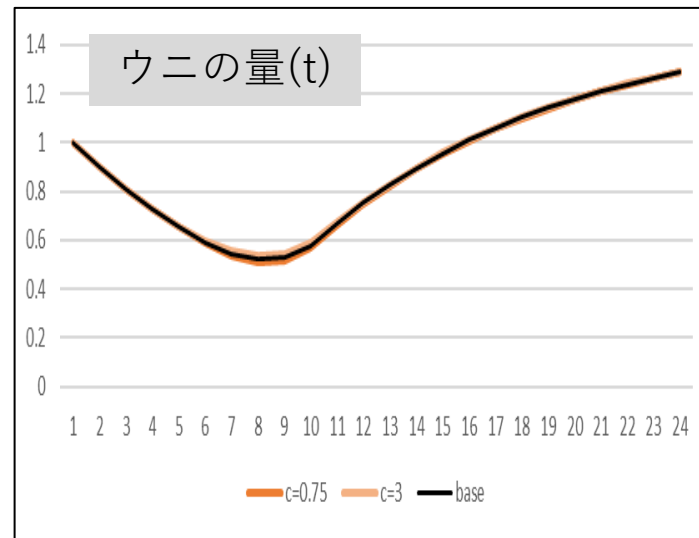
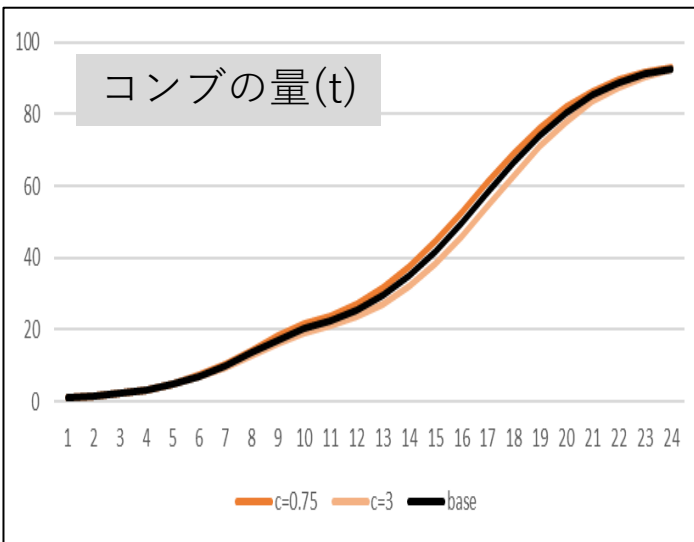


◆ 食圧管理の限界費用

- ・ 大きい場合
→ 管理レベルを早めに引き下げる
- ・ 小さい場合
→ 管理レベルを遅めに引き下げる



大きな違いは生じなかった



$(c, r, m, q, K, \alpha, n, b, \delta, \gamma, X(0), Y(0), P(0)) = (1.5, 0.5, 0.06, 1, 100, 3, 0.4, 0.1, 0.1, 0.07, 1, 200, 1)$ を基準

まとめ

ウニとコンブからなる仮想的な漁場における数理モデルの構築、望ましい管理体制について分析を行った。

- コンブが十分に生育するまでは厳しくウニの食圧管理を行うべき
- 食圧に耐えうるレベルに達したらウニの餌にすることが望ましい

■ウニの最大摂食量が大きい場合

- 食圧管理レベルを下げる時期を遅らせる
- コンブが十分に成長できるように食圧管理レベルを下げすぎない

参考文献

- Anders Skonhoft, Gunnar Austrheim, Atle Msterud : A BIOECONOMIC SHEEP – VEGETATION TRADE - OFFMODEL: AN ANALYSIS OF THE NORDIC SHEEPFARMING SYSTEM, NATURAL RESOURCE MODELING, Vol.23, p.354 -380
- Vincent Martinet, Fabian Blanchard : Fishery externalities and biodiversity: Trade -offs between the viability of shrimp trawling and the conservation of Frigatebirds in French Guiana, Ecological Economics, Vol.68, p.2960 - 2968, 2009
- 南里 海児, 中嶋 泰, 八谷 光介, 清本 節夫, 安藤 亘, 吉村 拓 : 長崎県新三重地区における磯焼け対策について, 日本水産工学会誌, 48 巻 1 号 p.59-64, 2011
- 山下俊彦, 猿渡亜由未, 渡辺航希, 佐藤旬, 佐藤仁 : 北海道南西日本海沿岸の磯焼け対策としてのコンブのロープ養殖に関する研究, 土木学会論文集, Vol.69, NO.2, 2013
- 山本貴史, 玉置哲也, 岡崎慎一郎, 吉田秀典, 末永慶 寛 : 震災海域における海藻とウニの共生技術の開発, 2022