

東京大学大学院新領域創成科学研究科
社会文化環境学専攻

2018年度
修士論文

日本沿岸域に分布するアマモ場による
二酸化炭素吸収量の試算

Estimation of the Amount of CO₂ Absorption by Eelgrass Bed
in Japanese Coastal Areas

2019年1月21日提出
指導教員 佐々木 淳 教授

藤崎実玲
Mirei Fujisaki

目次

目次	2
1.序章	5
1-1.研究の背景	5
1-2. 既往研究のレビュー – 本研究の位置付け –	6
1-2-1.国内外におけるブルーカーボンに関する研究	6
1-2-2.ブルーカーボン生態系の種類に関する研究	8
1-2-3.アマモに関する研究	9
1-2-4.既往研究レビューのまとめと本研究の位置付け	10
1-3. 研究の目的	11
1-4.アマモ数値モデルの選定	11
1-5.論文の構成	12
2.研究方法	13
2-1.アマモの生長・枯死過程数値モデル	13
2-2. 計算条件とデータベース詳細・データベース抽出方法	21
2-2-1.タイムステップ	21
2-2-2.初期条件	21
2-2-2-1.藻場データベースの概要	21
2-2-2-2.各藻場ポリゴンの代表座標の選定方法・選定理由と面積算出方法	22
2-2-2-3.アマモの地上部生物量と地下部生物量	23
2-2-2-4.水深データと抽出方法	24
2-2-3.境界条件	25
2-2-3-1.全天日射量の日積算量の月別平年値とデータ抽出方法	25

2-2-3-2.透明度データと抽出方法	26
2-2-3-3.水温データと抽出方法	26
2-3.二酸化炭素吸収量の推定方法	27

3.藻場現存量の計算結果および考察 29

3-1. 藻場現存量計算結果.....	29
3-2.既往研究の計算結果・実測調査結果との比較・検証・考察.....	30
3-2-1.既往研究との比較・検証	30
3-2-2.考察	31
3-3.既往研究の実測調査結果との比較・検証・考察.....	32
3-3-1.既往研究との比較・検証	32
3-3-2.考察	37
3-4. データとパラメータの分析.....	37
3-4-1.緯度の異なる3地点に着目した計算条件と推定値の分析.....	38
3-4-2.緯度の異なる地点に着目したパラメータの感度分析.....	40
3-4-2-1.水温に関するパラメータ TOPT の感度分析 (f(T)の時系列変化) ...	40
3-4-2-2. 水温に関するパラメータ ST の感度分析 (f(T)の時系列変化).....	42
3-4-2-3.水温に関するパラメータ TOPT の感度分析 (f(T)と T の関係性)...	43
3-4-2-4. 水温に関するパラメータ ST の感度分析 (f(T)と T の関係性).....	45
3-4-2-5.光に関するパラメータ KL の感度分析 (f(L)の時系列変化)	47
3-4-2-6. 光に関するパラメータ KL の感度分析 (f(L)と L(z)の関係性).....	48
3-4-2-7. 光に関するパラメータ KL の感度分析 (f(L)と Sr の関係性).....	50
3-4-2-8. 光に関するパラメータ KL の感度分析 (f(L)と Tr の関係性).....	52
3-4-2-9.空間に関するパラメータ SMAX の感度分析 (f(s)の時系列変化)...	53
3-4-2-10. 空間に関するパラメータ SL の感度分析 (f(s)の時系列変化).....	55
3-4-2-11. 空間に関するパラメータ SMAXの感度分析(F(s)とSの関係性).....	57
3-4-2-12. 空間に関するパラメータ SL の感度分析 (f(s)と S の関係性).....	59
3-4-2-13. 3地点における藻場現存量計算結果のパラメータ感度の比較	61

3-4-3.まとめと考察	63
3-4-4.TOPT 設定方法の検討	64
3-5. 藻場現存量計算結果の時系列変化	68
3-5-1.分析	68
3-5-2.考察	71
3-6. 藻場現存量計算結果緯度別の傾向	71
3-6-1.分析.....	71
3-6-2.考察.....	75
4.二酸化炭素吸収量の試算結果と考察	77
4-1.二酸化炭素吸収量計算結果	77
4-2.二酸化炭素吸収量計算結果の時系列変化.....	78
4-2-1.分析	78
4-2-2.考察	79
4-3. 二酸化炭素吸収量計算結果の緯度別の傾向	79
4-3-1.分析.....	79
4-3-2 .考察.....	81
4-4. 感度分析.....	82
5.結論	84
参考文献	86
謝辞	91

1.序章

まずはじめに、用語の定義をする（表 1-1）。本研究では、吸収を「大気から海中へ二酸化炭素が取り込まれる過程」という広い意味で使用する。そして、その広義の吸収に含まれる用語が隔離——海洋生物の体内に CO₂が取り込まれるまでの過程——と貯留——隔離された CO₂が海洋生物に保存される状態へ移行する過程——である。今回は、隔離された二酸化炭素のうち長期間貯留される割合を掛け合わせ、それを二酸化炭素吸収量として算出する。つまり、本研究においては、貯留量を二酸化炭素吸収量として進めていく。

また、本研究ではアマモの純一次生産量から枯死量を差し引いた量を生長量と定義し、この試算結果を用いて二酸化炭素吸収量を算出する。

表 1-1 用語の定義（堀，桑江（編），2017）を基に作成

炭素循環	吸収	大気から海中へCO ₂ が取り込まれる過程
	隔離	大気から海中へCO ₂ が吸収され、海中から海洋生物の体内に有機炭素として炭素が取り込まれるまでの、生態系の物質循環によって大気から海洋生物にCO ₂ が取り込まれるまでの過程
	貯留	隔離された有機炭素が生態系の物質循環から外れ、保存される状態へ移行する過程
生長量		アマモの純一次生産量から枯死量を差し引いた量

1-1.研究の背景

近年、地球温暖化の原因である大気中の二酸化炭素濃度は増加をたどり、年々深刻化している。2013年に公表された、気候変動に関する政府パネル（IPCC）第5次評価報告によれば、世界の平均気温は1880年から2012年の期間で約0.85℃上昇しており、最近30年の各10年間の世界平均地上気温は、1850年以降のどの10年間よりも高温であると報告されている。さらには、今世紀末には1986-2005年と比較して0.3～4.8℃上昇すると予測されている。また、世界平均海面水位に関しては、1901年から2010年の期間中で、0.19m上昇しており、今世紀末には1986-2005年と比較して、0.26～0.82m上昇するとの予測を発表している。（IPCC，2013）そのため、世界各地で地球温暖化対策が求められており、地球規模で様々な取り組みが行われている。例えば、全ての参加国に二酸化炭素排出削減のための努力を求めるパリ協定では、2020年以降の気候変動対策について、吸収源の保全および強化についても推奨された（UNFCCC，2015）。

こうした地球温暖化に関する世界的潮流の中、Nellemannら（2009）によって海洋生態

系の生物体、土壌、海水によって海中に隔離・貯留される炭素と定義されたブルーカーボンが注目を浴びている。なぜなら、2009年に国連環境計画（UNEP）らがまとめた報告書が公表され、この報告書により以下の2点が提示されたためである。1つが、地球上の生物が吸収する二酸化炭素のうち、陸上はその半分弱なのに対して、残りの半分強は海洋が吸収していること、もう1つが、海洋で貯留される炭素の半分以上は沿岸浅海域の生態系が吸収していることである（Nellmannら、2009）。つまり、この提示をきっかけに、高い炭素蓄積能力を有するブルーカーボンは、新しい気候変動に対する緩和策としてポテンシャルがあると考えられ、重要性が高いものとして認知された。

ブルーカーボンの概念はまだ新しいものの、それを二酸化炭素吸収源としていち早く位置付けている国がある。例えば、オーストラリアではマングローブ、潮汐湿地、海草藻場を吸収源として位置付けるための取組が行われている。また、パリ協定において、気候変動の緩和・適応の面から、ブルーカーボンの活用に関する取り組みを計画・実施する国もある。一方、日本国内においては、ブルーカーボンは新しい分野であるがゆえに知見が不足しており、そのポテンシャルが定量的に評価できていない。そのため、日本の地球温暖化対策計画では、森林、都市緑地、農地土壌の3つが二酸化炭素吸収源対策として位置付けられ目標数値が設定されているが、ブルーカーボンは二酸化炭素吸収源対策として未だ位置付けられていない。しかし、海に囲まれた島国である我が国にとって沿岸域の二酸化炭素吸収源としてのポテンシャルは高く、ブルーカーボンは新しい二酸化炭素吸収源として期待できると考えられる。そのため、本研究では、日本国内におけるブルーカーボンに着目する。

1-2. 既往研究のレビュー —本研究の位置付け—

以上、ブルーカーボンに着目する理由を述べた。この節では、ブルーカーボンに関連する既往研究をレビューすることで、本研究の位置付け——本研究では、日本国内でのブルーカーボンに関する研究のどこを担うのか——を明確にする。

1-2-1.国内外におけるブルーカーボンに関する研究

ブルーカーボン生態系に関する研究は世界各地で行われている。Fourqureanら（2012）はブルーカーボン生態系の一種である海草藻場の現存量と土壌に堆積された有機炭素含有量のデータを世界中から集め、海草藻場による有機炭素貯留量を試算した。Krause-Jensen and Duarte(2016)は、大型藻類の炭素貯留機能についてまとめている。Duarteら(2013)

は、海草藻場、塩性湿地、大型藻類藻場、マングローブ林が全球で三分の一失われると二酸化炭素吸収源が失われ、年間 1Pg の二酸化炭素が排出されることを示し、沿岸保護のための植生保全や修復が気候変動の緩和と適応のために重要であることを述べた。

また、Duarte and Krause-Jensen (2017)によって、全球での海草藻場の作用を起源とした有機炭素の輸送・貯留について述べられたものもある。これについて図 1-1 に示す。全球の純一次生産を 490(TgC yr⁻¹)、最終的に藻場外、藻場内に堆積される有機炭素量をそれぞれ 24(TgC yr⁻¹)、80(TgC yr⁻¹)と紹介している。これに従って計算すると、長期間残存する有機炭素の割合は 21%となる。なお、今回 490(TgC yr⁻¹)とした純一次生産量は 1996 年に見積もられたものを参考としているため、今後、精査する必要も考えられる。

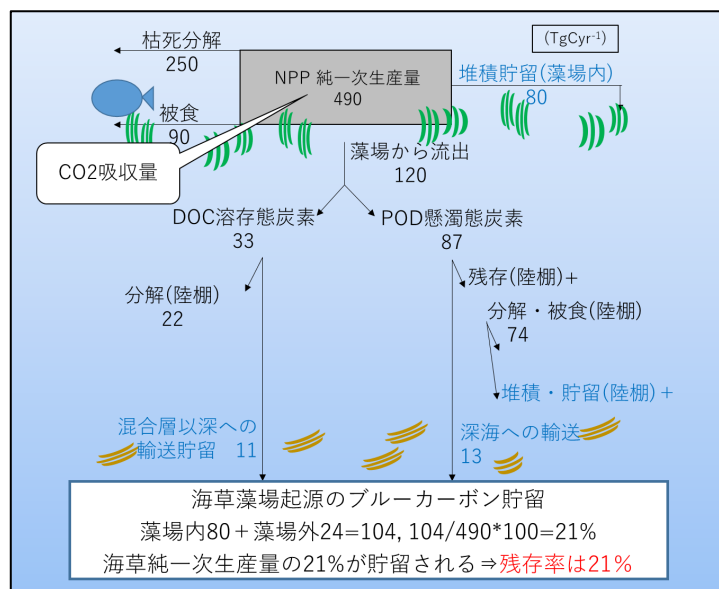


図 1-1：海草藻場起源のブルーカーボンの海中残存フロー
(Duarte and Krause-Jensen,2017)が作成した図を参考に加筆・編集

一方、近年で、日本国内においてもブルーカーボンに関する研究が行われ始めた。例えば、我が国におけるブルーカーボン生態系の炭素固定機能に着目した知見としては、伊勢湾のアマモ場を対象に、実測調査により炭素固定量を推定し、その貨幣価値を算出した研究(国分ら, 2006)や、全国のアマモ場の二酸化炭素吸収量を定量的に評価するツールとして活用することを目的に、数値モデルを用いて小豆島のアマモ場の生長・枯死過程をシミュレーションし、実測調査の結果と比較検証した研究(樽谷ら, 2011, 2013)などがある。また、ブルーカーボン研究会により、日本沿岸域に分布するブルーカーボン生態系による二酸化炭素吸収量見込みが発表された(ブルーカーボン研究会, 2018)。さらに、桑江ら

(2014)の研究では、アマモの草体が大気中から直接二酸化炭素を吸収していることが明らかになっている。また、ブルーカーボンに関する幅広い情報をまとめた書籍(堀, 桑江(編), 2017)も出版されており、本研究でも参考としている。

以上、国内外におけるブルーカーボンに関する研究を見てみると、日本国内においては、ブルーカーボン生態系による二酸化炭素吸収量見込みの研究は部分的な範囲の分析のみであった。ブルーカーボン研究会によって、日本沿岸域を対象に二酸化炭素吸収量見込みが発表されているが、その試算結果には幅があり、精査が必要である。また、日本沿岸域全体を対象とし定量的に推算した研究はまだなく、推定方法にばらつきも見られる。そのため、本研究では日本沿岸域全体を対象とする。次に、ブルーカーボン生態系の中でも、どの種類に着目するかを既往の知見から選定する。

1-2-2.ブルーカーボン生態系の種類に関する研究

国連環境計画(UNEP)らがまとめた報告書ではマングローブ林、塩性湿地、海草藻場の3つのブルーカーボン生態系を重要と考えている。これらは海中に3次元構造を作ることから海水の流れを弱め、堆積作用によって海中の有機炭素を堆積させる。そのため、海洋生態系の中でも高い貯留機能を持つ。かつ、堆積物中の炭素は数百年以上貯留される(Nellemannら, 2009)。また、ブルーカーボン生態系と主要な生態系間での炭素貯留量・貯留速度を比較したものを表1-2に示す(Bridgham, 2014; 堀, 桑江(編), 2017)。

表 1-2：ブルーカーボン生態系と主要な生態系間での炭素貯留量・貯留速度の比較
Bridgham(2014)を基に(堀, 桑江(編), 2017)が改変したものを基に作成

		全球面積	面積当たりの炭素貯留量	面積当たりの炭素貯留速度	年間炭素貯留量(データ範囲)
		×1000km ²	MgC ha ⁻¹	gC m ⁻² year ⁻¹	TgC year ⁻¹
ブルーカーボン生態系	海草藻場	177	140	101	18
	マングローブ林	138	864	163	23
	塩性湿地	51	162	151	7.7
その他の主要な生態系	泥炭地	3341	1497	11	36
	熱帯林	19623	238	4	79
	温帯林	10400	196	5.1	53
	亜寒帯林	13700	117	4.6	49
	熱帯サバンナ/草地	15000	187		
	温帯草地	9000	159	2.2	20
	灌木地	8500	122		
	砂漠	18000	91	0.8	14
	ツンドラ	8000	166	1.2	10
	農地	14000	150		
極地:砂漠、岩、氷	24000	1			

表 1-2 より、ブルーカーボン生態系は、他の生態系と比較すると、全球に分布する面積は小さいものの、単位面積当たりの炭素貯留量は同程度、単位面積当たりの貯留速度は高いことが読み取れる。年間炭素貯留量は他の生態系の方が大きいものの、全球面積を拡大することで、効率の良い二酸化炭素貯留源となりうると考えられる。

ブルーカーボン生態系の中でも、海草藻場は種類によれば最大で水深 50m 付近にまで分布できること、広い塩分勾配を利用できることが特徴としてあげられる（堀，桑江（編），2017）。これを考慮すると、マングローブ林と塩性湿地に比べて分布面積を拡大できる可能性は高く、将来の二酸化炭素吸収源としてより有効であるといえる（堀，桑江（編），2017）。また、既往研究より、種類や分布する地域によって異なるが、海草藻場は地球規模でもっとも一次生産力が高い生態系の 1 つであると知られている（Duarte ら，2010）。理由として、下記のような生態的特性が挙げられる。まず、一般的に、海底の堆積物から海中に露出する部位を地上部、海底の堆積物内にある地下茎と根は地下部と呼ばれる。海草草体地上部（葉）は生長速度が速く、ブルーカーボンを隔離する能力が高い。かつ、三次元構造が海水の流れを弱め、水中を浮遊する有機物を堆積させるため、ブルーカーボンの貯留機能も高いと言われている（堀，桑江（編），2017）。

なお、日本各地で海草・海藻藻場の実測調査がされており、また、Nakaoka and Aioi(2001) や長谷川ら（2013）による日本各地で行われたアマモ場の実測調査文献レビューなどもみられる。しかし、我が国の沿岸浅海域には多くの海草・海藻藻場が生息するにも関わらず、未だ未解明な部分もみられるため、その生態観測調査や生産量の実測調査はまだ不足しているといえる。

以上、1 章 1 節の背景でも既述したが、既往の研究によってその他の生態系と比較することで、ブルーカーボン生態系に着目することの重要性を再度確認した。また、ブルーカーボン生態系の中でも、海草藻場の効率が非常に高いことが明らかになっている。そのため、将来の地球温暖化対策へ繋がる可能性があるためことを踏まえると、海草藻場に注目して研究を進めることに意義があると考えられる。

なお、海草藻場の中でも、日本に分布する主要種であるアマモに本研究で着目している。その理由を以下のアマモに関する既往研究のレビューを行い情報整理することで、明確にする。

1-2-3.アマモに関する研究

アマモ場はアマモなどの海草からなる海草藻場の一種である。日本ではアマモと別種の海草が形成する藻場もアマモ場と呼ぶ傾向があるが（堀，桑江（編），2017）、本研究では、アマモが形成する海草藻場についてアマモ場という言葉を使う。アマモを選定した理由の

一つは、生息域が広いためである。アマモは約 1 億年前にアジアの温帯海域でタネが形成され、大陸移動による海域の変化に伴って拡大したと言われており、生育場所は北半球にも広がる (Orth ら,2006)。そのため、地球上で最も分布が広い海洋植物のひとつと言われている。また、日本沿岸域に分布する海草藻場においてもアマモ場が主要であり、本州・鹿児島湾まではアマモとアマモ科の海草が優先して分布していることから (堀, 桑江 (編), 2017)、今後、分布面積の拡大を見込むことができると考えられる。

このことより、アマモは新しい二酸化炭素吸収源対策として価値が高いと考えられ、それによる二酸化炭素吸収量を試算することには意義があると思われる。また、アマモの株の平均寿命は 60 年程度 (Hemminga and Duarte, 2000) と言われており、適した生育環境では、1000 年以上となる場合もあるとされるなど、長寿である (Reusch ら, 1999)。これは、アマモの高い炭素貯留力につながると考えられている (堀, 桑江 (編), 2017)。これも、アマモに着目した理由の一つである。

なお、アマモは海草類の 2 つの繁殖様式 (栄養繁殖と種子繁殖) を持つことを言及する。繁殖様式を分ける事で 2 つの生活サイクルを有する。栄養繁殖と種子繁殖の 2 つのサイクルを持つ多年生アマモはブルーカーボンの高い貯留機能をもつが、種子繁殖サイクルのみを持つ一年生アマモは無植生の段階を有するため、隔離機能は有していても、貯留機能は低いと考えられている (堀, 桑江 (編) 2017)。

1-2-4. 既往研究レビューのまとめと本研究の位置付け

以上、既往研究のレビューより、世界においてブルーカーボンが注目されており、研究が進められていること、日本国内においてブルーカーボンに関する研究が行われ始めていること、今回対象とするアマモ場を構成する主要種のアマモに関する情報を整理した。

まず、ブルーカーボン生態系による炭素貯留量の試算は全球レベルでなされているが、多くの仮定や限られたデータに基づいたものであるため、地点別など詳細に精度よく推算するためには、さらに情報を蓄積・統合する必要があると考えられる。

また、日本国内においてブルーカーボン生態系による二酸化炭素吸収量見込みの研究は部分的な範囲の分析のみであり、日本沿岸域全体を対象とし長期的な変動を分析した研究はまだない。推定方法にばらつきも見られる。すでに二酸化炭素吸収源として位置付けられている森林などと比較するとブルーカーボンの研究は不足しており、二酸化炭素吸収量を定量的に精度高く評価することはできていない。日本沿岸域でも海洋生態系による炭素の吸収が見込めることはわかってきていることから、温暖化対策計画へ位置づけるためにも、簡便でオープンデータを活用した推定方法を検討する必要がある。

そして、ブルーカーボン生態系の中でも、海草藻場が期待されると考えられた。その中

でも、アマモ場は広く分布しているという結果が既往研究から明らかになっている。

1-3. 研究の目的

以上の背景と既往研究のレビューから、本研究では日本沿岸域におけるアマモ場による二酸化炭素吸収量を推定する。まず、日本沿岸域全体に分布する各藻場について、オープンデータと数値モデルを用いて生長・枯死過程を推定し、得られた生長量算出結果を基に二酸化炭素吸収量を推定する。また、計算結果に影響を与える要因を分析し、数値モデルの改善点を明らかにするべく、分析・考察を試みる。

なお、本研究では日本沿岸域に分布する全ての藻場をアマモ場と仮定し、試算を行う。その理由としては、その種類別の詳細な分布情報は限られているためである。しかし、アマモ場の生息域は広く、藻場の全体の中でも多くを占めている。よって、今回は厳密にはアマモ場のみによる計算結果ではないが、藻場をアマモ場と仮定し、本文中では藻場と表記する。また、多年生アマモ（栄養繁殖、種子繁殖）のうち、栄養繁殖の株を対象とする。多年生アマモ（種子繁殖の株）と一年生アマモ（種子繁殖）は生理・生態学的特性を定量的に示した知見が不足しており、モデル化が困難であるため、対象外とした。

1-4. アマモ数値モデルの選定

以上の目的から、本研究ではアマモの数値モデルを用いた試算を行うが、どの数値モデルを採用するか。以下の既往研究を参照することで、数値モデルの選定を行う。

アマモ数値モデルについては、Bocci ら(1997)によって手法が考案されている。そして、金澤ら(2006)は造成藻場の実測調査結果と比較検証し、Bocci ら(1997)のモデルのパラメータの一部を変更している。また、樽谷ら(2011, 2013)は、アマモ場による二酸化炭素吸収量を定量的に精度よく推定することを目的に、Bocci ら(1997)をベースに一部を改変した数値モデルを用いてアマモの生長・枯死過程シミュレーションを行った。Bocci ら(1997)のモデルと大きく違う点としては、枯死速度、枯死草体の分解速度、枯死草体の流出速度を式に加えたこと、一部のパラメータを改変したことである。また、今村ら(2006)によってもモデルは開発されている。このモデルは光合成反応に重きを置いており、パラメータの推定等のアマモの生態に関する詳細なデータをもとに試算を行っている。この今村ら(2006)のモデルは、アマモの生態に関する詳細なデータが求められるため、日本全域を対象とした計算は難しいと思われる。今回の目的は日本沿岸全体の推算にあることから、凡

庸性が高く、アマモの生長・枯死過程をシミュレーションするにあたり重要であると考えられる季節変動も考慮されている Bocci ら(1997)と樽谷ら (2011, 2013) のモデルを使用し、推定を行う。

1-5.論文の構成

本論文は、2章において、今回藻場の現存量・生産量を推定する際に用いる数値モデル概要と計算条件、用いたデータ、そして、藻場による二酸化炭素吸収量の試算方法について記述する。3章においては各藻場の現存量の計算結果を示し、既往研究の計算結果・実測調査との検証と、光・水温・空間に関するパラメータの感度分析、現存量計算結果の時系列変化と緯度別の分析について記述する。4章では二酸化炭素吸収量の試算結果とその時系列変化と緯度別の分析、光・水温・空間に関するパラメータの感度分析について考察する。5章でこれらを統合し、結論と今後の研究における展望を示す。

2.研究方法

本研究では日本沿岸域に分布する藻場をアマモ場と仮定し、その二酸化炭素吸収量を推定する。まず、日本沿岸域全体に分布する藻場それぞれについて、オープンデータと既往の数値モデルを用いて生長・枯死過程を推定し、10年間の単位面積当たり月当たりの生長量と現存量を乾燥重量ベースで算出する。次に、生長量の算出結果から、藻場により海中に隔離された二酸化炭素量を求め、最終的に海中に貯留され続ける割合を掛け合わせることで、藻場による二酸化炭素吸収量を推算する。

本章の構成を説明する。まず、1節(2-1)で数値モデルについて説明する。次に、2節(2-2)で計算条件と今回用いたデータベースとその抽出方法について説明する。最後に、3節(2-3)で藻場による二酸化炭素吸収量の推定方法について説明する。

2-1.アマモの生長・枯死過程数値モデル

本節ではモデルの概要について説明する。本モデルは①アマモ地上部の現存量の時間変化、②アマモ地下部の現存量の時間変化、③窒素を対象としたアマモ体内の栄養塩の時間変化方程式から構成されている。Bocciら(1997)のモデルがベースとなっている。

①アマモ地上部の現存量の時間変化は式(1)(樽谷ら, 2011)によって表される。ここに、 $S(\text{gDW m}^{-2})$ はアマモ地上部の現存量、 t は時間、 μ (d^{-1})はアマモの生長速度、 trans (d^{-1})はアマモ地上部から地下部への光合成産物の転送速度、 r_s (d^{-1})はアマモ地上部の呼吸速度、 $mors$ (d^{-1})はアマモ地上部の枯死速度である。

μ (d^{-1})のアマモの生長速度は式(2)(樽谷ら, 2013)によって表される。ここに、 $MIMAX$ はアマモの最大生長速度、 $f(L)$, $f(T)$, $f(N)$, $f(s)$, $f(\text{age})$ は光量、水温、栄養塩、空間、年齢(生活史)に関する生長制限要因である。

また、アマモ地上部から地下部への光合成産物の転送速度 trans は式(3)によって表される。ここに、 $KTRANS$ (d^{-1})は移動係数、 μ (d^{-1})はアマモの生長速度(式(2))である。

さらに、アマモ地上部の呼吸速度 r_s (d^{-1})は式(4)(樽谷ら, 2011)によって表される。ここに、 pu_{rs} (d^{-1})はアマモ地上部の呼吸率、 $f_{\text{dec}}(T)$ は呼吸に関する温度影響係数である。なお、 $f_{\text{dec}}(T)$ は式(5)によって表される。

最後の $mors$ (d^{-1})のアマモ地上部の枯死速度は式(6)(樽谷ら, 2011)によって表さ

れる。ここに、 pu_das (d^{-1}) はアマモ地上部の枯死速度定数、 $f_dec(T)$ は呼吸に関する温度影響係数 (式 (5)) である。

$$dS / dt = (\mu - trans - rs - mors) \times S \dots\dots\dots (1)$$

$$\mu = MIMAX \times f(L) \times f(T) \times f(N) \times f(S) \times f(age) \dots\dots\dots (2)$$

$$rans = KTRANS \times \mu \dots\dots\dots (3)$$

$$rs = pu_rs \times f_dec(T) \dots\dots\dots (4)$$

$$f_dec(T) = 0.098 + \exp[-4.690 + 0.2317 \times T] \dots\dots\dots (5)$$

$$mors = pu_das \times f_dec(T) \dots\dots\dots (6)$$

式 (2) (樽谷ら, 2013) のアマモの生長速度 μ (d^{-1}) における $f(L)$ は式 (7) で表される。ここに、 $L(Z)$ は水深 Z (m) における水中光量で式 (8) によって表され、 KL ($Kcal\ m^{-2}\ d^{-1}$) は光量に関する半飽和定数である。

式 (8) の水深 Z (m) における水中光量 $L(Z)$ は、水面直下の日射である $L(0)$ ($KJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)、光の消散係数である k (m^{-1})、水深(m)である Z で表される。

$L(0)$ の推定には式 (9) (石川ら, 1986) を用いた。ここに、 Sr ($MJ\ m^{-2}$) は全天日射量の日積算量の月別平均値、0.42 は全天日射量に占める光合成に有効な波長 PAR の割合、0.79 は海面での反射減衰率 (水面直下の光量/水面上の光量)、 $1/0.0428$ は MJ と cal の換算係数 ($1\ MJ\ m^{-2} = 1/0.0428\ cal^{-1}\ cm^{-2}$)、 $1/0.0001$ は cm^{-2} と m) の換算係数 ($1\ cm = 0.0001\ m$)、0.001 は 1cal と 1kcal の換算係数 ($1\ cal = 0.001\ kcal$) である。(石川ら, 1986) また、4.1868 は、Kcal と KJ ($1\ Kcal = 4.1868\ KJ$) の換算係数である。

光の消散係数 k は式 (10) (Persons ら, 1984) を用いた。ここに、 $Tr(m)$ は透明度である。公共用水域水質測定データには消散係数は含まれていないため、Persons ら (1984) に従い、透明度から換算した。

なお、光に関する生長制限項に関わるパラメータ KL は 2090 ($KJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) と設定した。 $f(L)$ の模式図を図 2-1-1 に示す。図より、 $L(z)$ が大きくなるほど 1 に限りなく近づき、最終的に飽和することがわかる。

$$f(L) = L(Z) / (L(Z) + KL) \dots \dots \dots (7)$$

$$L(Z) = L(0) \exp[-kZ] \dots \dots \dots (8)$$

$$L(0) = Sr \times 0.42 \times 0.79 \times 1/0.0428 \times 1 / 0.0001 \times 0.001 \times 4.1868 \dots \dots \dots (9)$$

$$k = 1.7 / Tr \dots \dots \dots (10)$$

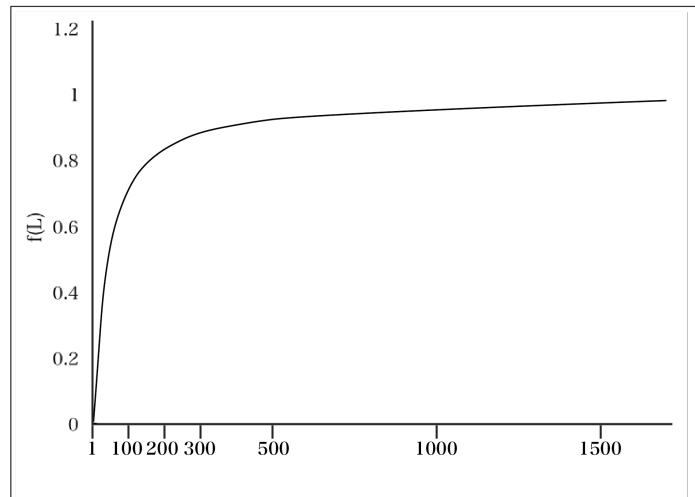


図 2-1-1：光の生長制限項 f(L)の概念図

また、式 (2) (樽谷ら, 2013) のアマモの生長速度 μ (d^{-1}) における $f(T)$, $f(N)$, $f(S)$ はそれぞれ式 (11), 式 (12), 式 (13) で表される。ここに、 T は水温($^{\circ}C$)、 $TOPT$ は好適水温($^{\circ}C$)、 ST ($^{\circ}C$)は水温に依存する生長係数、 N はアマモ体内の窒素量($mgNg DW^{-2}$)、 $NMIN$ ($mgNg DW^{-2}$)は窒素に関する最低内部保持量、 $NCRIT$ ($mgNg DW^{-2}$)は限界内部保持量、 $SMAX$ ($gDW m^{-2}$)はアマモ地上部の最大現存量、 SL ($gDW m^{-2}$)は空間に依存する生長係数である。

なお、水温に関する生長制限項に関わるパラメータ ST , $TOPT$ はそれぞれ $3.6(^{\circ}C)$, $20(^{\circ}C)$ と設定した。 $f(T)$ の模式図を図 2-1-2 に示す。 $20(^{\circ}C)$ で 1 となり、それよりも大きい、または、小さい値は $20(^{\circ}C)$ から遠い値ほど 0 に近づく。

栄養塩の生長制限項に関わるパラメータ $NMIN$, $NCRIT$ はそれぞれ $5(mgNg DW^{-2})$, $15(mgNg DW^{-2})$ と設定した。 $f(N)$ の模式図を図 2-1-3 に示す。 $15(mgNg DW^{-2})$ で 1 となり、それより小さい値は 0 に近づく。 $5(mgNg DW^{-2})$ で 0 となり、生長制限がかかる。

空間の生長制限項に関わるパラメータ SMAX, SL はそれぞれ 500(gDW m⁻²), 5(gDW m⁻²) と設定した。f(N)の模式図を図 2-1-4 に示す。500(gDW m⁻²)に限りなく近い値で制限がかかり、500(gDW m⁻²)でとなる。

$$f(T) = \exp\left[-\left(\frac{T - TOPT}{ST}\right)^2\right] \dots\dots\dots (11)$$

$$f(N) = (N - NMIN) / (NCRIT - NMIN) \dots\dots\dots (12)$$

$$f(S) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{S - SMAX}{SL}\right)^2\right] \dots\dots\dots (13)$$

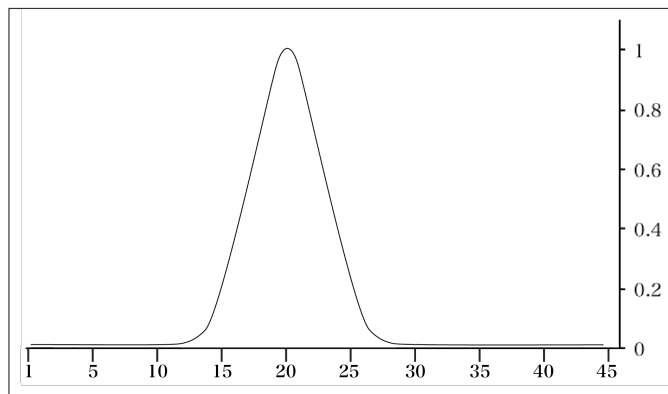


図 2-1-2 : 水温の生長制限項 f(T)の概念図

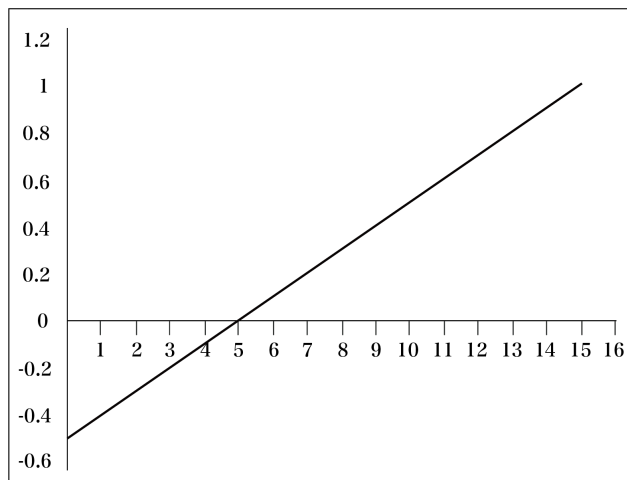


図 2-1-3 : 栄養塩の生長制限項 f(N)の概念図

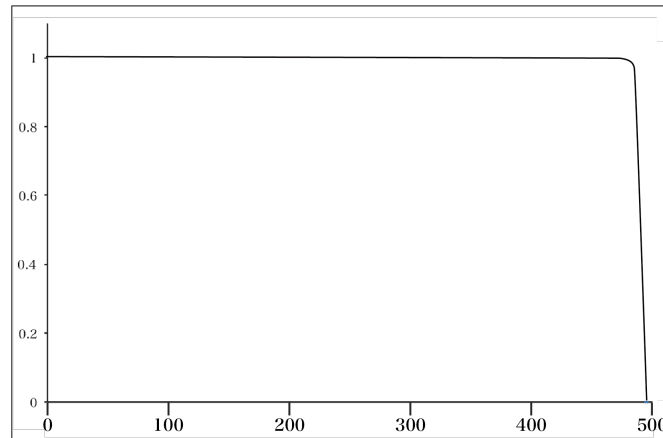


図 2-1-4：空間の生長制限項 $f(s)$ の概念図

式 (2) (樽谷ら, 2013) のアマモの生長速度 μ (d^{-1}) における年齢 (生活史) に関する生長制限項は主に 3 パターンあり, 時期によって式 (14) (樽谷ら, 2013), 式 (15) (樽谷ら, 2013), 式 (16) (樽谷ら, 2013) のうちどれかを用いて計算する. ここに, age (d^{-1}) はアマモの年齢である.

$$1 \text{ day} \leq \text{age} \leq 129 \text{ day}, 304 \text{ day} < \text{age} \leq 365 \text{ day}(\text{Julian day})$$

$$f(\text{age}) = 1 \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{for } 129 \text{ day} < \text{age} \leq 234 \text{ day}(\text{Julian day})$$

$$f(\text{age}) = 1 - 0.99 \times (\text{age} - 129) / (234 - 129) \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{for } 234 \text{ day} < \text{age} \leq 304 \text{ day}(\text{Julian day})$$

$$f(\text{age}) = 0.01 \dots\dots\dots (16)$$

生活史 (年齢) に関する生長制限項について補足する. 図 2-1-5 にアマモ生長モデルに導入した生活史 (年齢) 制限項 $f(\text{age})$ の模式図を示す. 今回対象とする栄養株 (栄養繁殖) の生活史は, 分枝期: 11~2 月, 伸長期: 3~6 月, 衰退期: 7~10 月 (中村ら, 2005) で構成されており, 日本沿岸域に分布するアマモは概ねこれと一致するとされている. したがって, アマモ現存量の季節変動をシミュレーションするために, 生活史に基づく季節サイクルの概念をモデル上でも考慮する必要がある.

以上より, 伸長期が始まる 3 月を起点とし, アマモ葉状部の寿命に関する既往知見 (70~175 日: Verhagen and Nienhuis, 1983; Hemminga and Duarte, 2000) を参考に,

伸長期後半から衰退期において年齢による生長速度の制限が生じると仮定した。(樽谷ら, 2013)

そして, 本研究では生活史(年齢)制限項 $f(\text{age})$ について表 2-1-1 の月別平均値を用いて試算した.

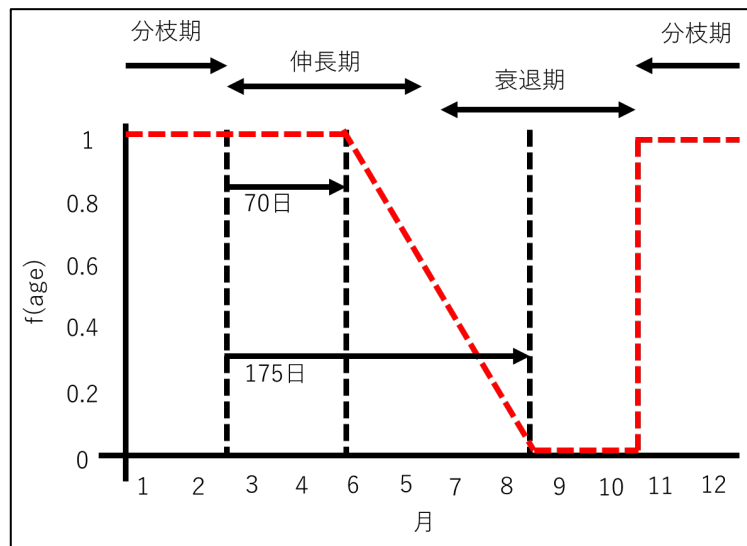


図 2-1-5 : アマモ生長モデルに導入した生活史(年齢)制限項 $f(\text{age})$ の模式図

樽谷ら(2013)を基に作成

表 2-1-1 : 生長モデルに導入した月別の生活史(年齢)制限項 $f(\text{age})$

樽谷ら(2013)を基に作成

month	$f(\text{age})$
1	1
2	1
3	1
4	1
5	0.923050691
6	0.646428571
7	0.358857143
8	0.080258065
9	0.01
10	0.01
11	1
12	1

②アマモ地下部の生長速度は式(17)(樽谷ら, 2011)によって表される. ここに, R はアマモ地下部の現存量, trans はアマモ地上部の生産した有機物のうち地下に輸送される量(式(3)), $\text{rr} (\text{d}^{-1})$ はアマモ地下部の呼吸速度, $\text{morr} (\text{d}^{-1})$ はアマモ地下部の枯死速

度である。

アマモ地下部の呼吸速度 rr (d^{-1}) は式 (18) で表される。ここに、 pu_{rr} (d^{-1}) はアマモ地下部の呼吸率、 $f_{dec}(T)$ は呼吸に関する温度影響係数 (式 (5)) である。また、アマモ地下部の枯死速度 $morr$ (d^{-1}) は式 (19) (樽谷ら, 2011) で表される。ここに、 pu_{dar} (d^{-1}) はアマモ地下部の枯死速度定数、 $f_{dec}(T)$ は呼吸に関する温度影響係数 (式 (5)) (樽谷ら, 2011) である。

$$dR / dt = trans \times S - (rr + morr) \times R \dots\dots\dots (17)$$

$$rr = pu_{rr} \times f_{dec}(T) \dots\dots\dots (18)$$

$$morr = pu_{dar} \times f_{dec}(T) \dots\dots\dots (19)$$

③窒素を対象としたアマモ体内の栄養塩の時間変化方程式は式 (20) で表される。ここに、 $uptake$ は外部からの吸収であり、地上部 (葉) からの吸収と地下部からの吸収に分けて示している。なお、 $Uptake$ は式 (21) で表される。ここに、 $uptakeS$ は地上部 (葉) の海水からの栄養塩の吸収量、 $uptakeR$ は地下部の栄養塩の吸収量、 $fb(N)$ は内部の栄養塩濃度である。

$uptakeS$ は式 (22) で表される。ここに、 $uptakeS_{NH_4}$ はアンモニア態窒素の吸収量、 $uptakeS_{NO_3}$ は硝酸態窒素の吸収量を表す。

なお、 $uptakeS_{NH_4}$ は式 (23) で、 $uptakeS_{NO_3}$ は式 (24) で示される。また、 $uptakeR$ は式 (25) で表される。ここに、 $MAXS$ は地上部 (葉) の最大吸収量、 KS は地上部 (葉) の吸収に関する半飽和乗数である。具体的に示すと、 $MAXS_{NH_4}$ ($mgN \ gDW^{-1}h^{-1}$) は地上部 (葉) のアンモニア態窒素の最大吸収量、 KS_{NH_4} ($mgN \ l^{-1}$) は地上部 (葉) のアンモニア態窒素の最大吸収量を表す。 $MAXS_{NO_3}$ ($mgN \ gDW^{-1}h^{-1}$) は地上部 (葉) の硝酸態窒素の最大吸収量、 NH_{4water} は海水中のアンモニア態窒素量、 KS_{NO_3} ($mgN \ l^{-1}$) は地上部 (葉) の硝酸態窒素の最大吸収量、 NO_{3water} は海水中の硝酸態窒素量である。また、 $MAXR$ ($mgN \ gDW^{-1}h^{-1}$) は地下部の最大吸収量、 NH_{4sed} は底質中のアンモニア態窒素量、 KR ($mgN \ l^{-1}$) は地下部の吸収に関する半飽和乗数である。

また、 $fb(N)$ は内部の栄養塩濃度であり、式 (26) で表される。ここに、 $NMAX$ は最大内部保持量である。

$$dN / dt = \text{uptake} - \mu \times N \dots\dots\dots (20)$$

$$\text{uptake} = (\text{uptakeS} + \text{uptakeR})fb(N) \dots\dots\dots (21)$$

$$\text{uptakeS} = \text{uptakeS}_{\text{NH}_4} + \text{uptakeS}_{\text{NO}_3} \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{uptakeS}_{\text{NH}_4} = \text{MAXS}_{\text{NH}_4} \times [\text{NH}_{4\text{water}}] / ([\text{NH}_{4\text{water}}] + \text{KS}_{\text{NH}_4}) \dots\dots (23)$$

$$\text{uptakeS}_{\text{NO}_3} = \text{MAXS}_{\text{NO}_3} \times [\text{NO}_{3\text{water}}] / ([\text{NO}_{3\text{water}}] + \text{KS}_{\text{NO}_3}) \dots\dots (24)$$

$$\text{uptakeR} = \text{MAXR} \times [\text{NH}_{4\text{sed}}] / ([\text{NH}_{4\text{sed}}] + \text{KR}) \dots\dots\dots (25)$$

$$fb(N) = (\text{NMAX} - N) / (\text{NMAX} - \text{NMIN}) \dots\dots\dots (26)$$

本研究の目的は日本沿岸域全体の推算にあり，使用可能な栄養塩データセットが存在しない。また，既往知見として，アマモ地下部は間隙水から，地上部は水中からも栄養塩を取り込むこと，取り込まれた栄養塩は地下からのものも地上からのものも内に運ばれることが明らかになっており (McRoy and Barsdate, 1970)，生長制限としての影響は他の項に比べて低いと考える。よって，本研究では $f(N)$ は全て 1 と仮定し，制限がかからないものとした。

最後に，基礎式中に含まれる各種パラメーターの設定値を表 2-1-2 に示す。

表 2-1-2：モデルパラメーターの設定値

Name	parameter	Value	Unit	出典
MIMAX	Maximum growth rate	0.06	d ⁻¹	Verhagen and Nienhuis, 1983; Zimmermann, 1987, 1989; Bach, 1993; Olesen and Sand-Jensen, 1993
KTRANS	Translocation coefficient	0.25	d ⁻¹	Bach, 1993; Verhagen and Nienhuis, 1983; Olesen and Sand-Jensen, 1993
KL	Semisaturation constant	500	Kcal m ⁻² d ⁻¹	Olesen and Sand-Jensen, 1993
TOPT	Optimal temperature	10	°C	Bulthuis, 1987; Evans, 1986
ST	Growth dependence on temperature	6	°C	Bocci, 1997
MAXS _{NH4}	Shoot maximum uptake for NH ₄	0.3	mgNgDW ⁻¹ h ⁻¹	Thursby and Harlin, 1982
KS _{NH4}	Shoot half-sat. constant for NH ₄	0.13	mgN l ⁻¹	Thursby and Harlin, 1982
MAXS _{NO3}	Shoot maximum uptake for NO ₃	0.06	mgNgDW ⁻¹ h ⁻¹	Iziumi and Hattori, 1982
KS _{NO3}	Shoot half-sat. constant for NO ₃	0.23	mgN l ⁻¹	Iziumi and Hattori, 1982
MAXR	Rhizome-root maximum uptake for NH ₄	0.02	mgNgDW ⁻¹ h ⁻¹	Iziumi and Hattori, 1982
KR	Rhizome-root half-sat. constant for NH ₄	0.9	mgN l ⁻¹	Iziumi and Hattori, 1982; Thursby and Harlin, 1982; Bocci, 1997
NMIN	Minimum internal nitrogen quota	5	mgN gDW ⁻¹	Pregnall, 1987; Short, 1987; Zimmerman, 1987
NCRIT	Critical internal nitrogen quota	15	mgN gDW ⁻¹	Short, 1987; Duarte, 1990
NMAX	Maximum internal nitrogen quota	30	mgN gDW ⁻¹	Pregnall, 1987; Short, 1987; Zimmerman, 1987
pu_rs	Shoot respiration constant	0.01	d ⁻¹	樽谷ら, 2011
pu_rr	Root respiration constant	0.0005	d ⁻¹	樽谷ら, 2011
pu_das	Shoot mortality constant	0.01	d ⁻¹	樽谷ら, 2011
pu_dar	Root mortality constant	0.004	d ⁻¹	樽谷ら, 2011
SMAX	Maximum shoot biomass	500	gDW m ⁻²	Jacobs, 1984
SL	Growth dependence on space availability	5	gDW m ⁻²	Bocci, 1997

2-2. 計算条件とデータベース詳細・データベース抽出方法

2-2-1. タイムステップ

計算のタイムステップは下記の通り設定した。単位は (d⁻¹) である。

$$\Delta t = \frac{1}{6} \dots \dots \dots (26)$$

2-2-2. 初期条件

本研究では、初期条件として各藻場の平均座標、各藻場地上部の現存量、地下部の現存量、水深を設定した。以下、データベースと抽出方法の詳細を示す。

2-2-2-1. 藻場データベースの概要

各藻場ポリゴンを構成する座標データについては、環境省 自然環境局 生物多様性セ

ンターのサイト上の第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査（環境庁自然保護局，財団法人海中公園センター）のGISデータ（<http://gis.biodic.go.jp>）を入手した。図2-2-1にその分布を示す。

ここでは，上記のデータより得られた全13097の藻場を対象とする。なお，現在，日本沿岸浅海域各地には約8種類（7種類の藻場タイプとその他1種）の藻場タイプが存在することが既往研究より明らかになっている。

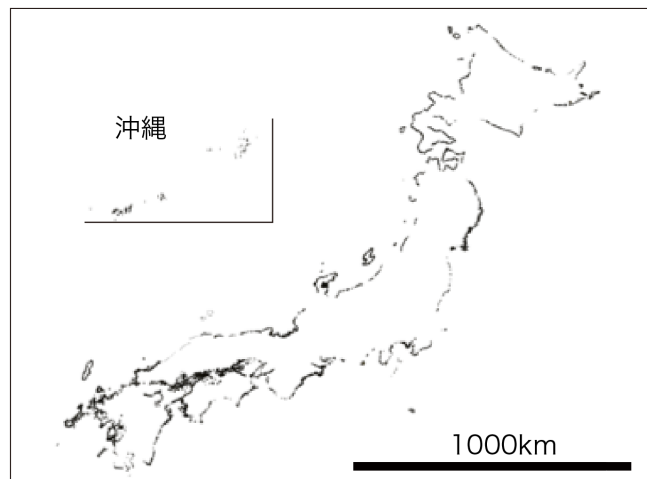


図2-2-1：日本沿岸域に分布する藻場

データ出典：第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査（環境省生物多様性センター）
GISデータ（<http://gis.biodic.go.jp>）を基に作成

2-2-2-2.各藻場ポリゴンの代表座標の選定方法・選定理由と面積算出方法

本研究で日本沿岸域に分布する藻場による二酸化炭素吸収量を試算する際，生長制限項として扱う水温，水深，透明度，全天日射量の月別日積算量のデータを藻場ごとに抽出し，計算に用いる。この際，図2-2-2に示した緯度及び経度それぞれの平均値を各藻場ポリゴンの代表座標（各藻場の平均座標）としてデータを抽出することとした。しかし，実際に求めると，平均座標が陸に位置するものが多数出現し，データが取得できない地点がある。そこで，各藻場ポリゴンを形成する座標のうち，緯度・経度の最大値・最小値を求めた。結果，平均座標同様，陸に位置するため，データが取得できないものが多数見られた。

本研究でパラメーターとして扱う水温，水深，透明度，全天日射量の月別日積算量のデータは，水温データの解像度は0.25度(lat)×0.25度(lon)，水深データの解像度については0.00833度(lat)×0.00833度(lon)，透明度データと全天日射量の月別日積算量のデータについては各県が即地点を決定しており，比較的荒いデータである。

以上を踏まえ，本研究で各藻場の二酸化炭素吸収量試算の際，水温，水深，透明度，全

天日射量の月別日積算量のデータを抽出する際は、藻場ごとの平均座標を用いて、データが取得できるまで範囲を広げる方法でデータを抽出することとした。

各藻場ポリゴンの面積については、環境省 自然環境局 生物多様性センターのサイト上の第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査（環境庁自然保護局，財団法人 海中公園センター）の GIS データ（<http://gis.biodic.go.jp>）から各藻場ポリゴンを構成する座標点を入手し、そのなす面積を算出した。



図 2-2-2：日本沿岸域に分布する藻場ポリゴンそれぞれの平均座標分布

データ出典：第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査（環境省生物多様性センター）
GIS データ（<http://gis.biodic.go.jp>）を基に作成

2-2-2-3.アマモの地上部生物量と地下部生物量

既往研究より、日本沿岸域に分布するアマモ地上部の生物量は約 4~700 (gDW m²) まで報告されている (Nakaoka and Aioi, 2001；長谷川ら,2013)。日本各地で行われたアマモ場の実測調査系既往研究を対象とした文献レビューにより、繁茂期の地上部生物量は 100~200 (gDW m²) 付近がモードとの報告もある (堀，桑江 (編)，2017)。地上部生物量はアマモ場により異なっており、シュート密度と地上部の生物量との間に明瞭な関係も見られないとされている (長谷川ら，2013)。このことは、小型のシュートを形成するアマモ場や、密度は低いが大型のシュートが形成するアマモ場など、各地でアマモの形態的変異が大きいことによると考えられている。また、日本沿岸のアマモ場の密度や生物量は、地域・海域的な偏りや傾向が見られないとされている (Nakaoka and Aioi, 2001；長谷川

ら,2013).

以上より、日本沿岸域に分布する藻場について、個々の現存量の詳細は明らかになっていない。また、今回用いたデータセットが1月開始であるため、計算は1月開始とする。藻場現存量は季節によって異なるため、1月付近の実測調査をしている既往研究(Aioi, 1980)の平均値約10 (gDW m⁻²) を参考にし、今回は藻場の現存量初期値を10 (gDW m⁻²) と設定し、試算した。

既往研究(長谷川ら,2013)より、アマモ地下部の現存量について、生産期は地上部の30%程度、衰退期は地上部の70%との報告がある。しかし、地上部と比較すると報告は少ないとされている。以上より、アマモの地下部生物量について、初期値は、アマモ地上部生物量10 (gDW m⁻²) × 30% = 3 (gDW m⁻²) とした。

2-2-2-4.水深データと抽出方法

使用したデータは The General Bathymetric Chart of the Oceans (https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data) から入手した。こちらを用いて作成した日本近海の水深マップを図2-2-3に示す。解像度は、緯度、経度共に0.00833度(lat) x 0.00833度(lon)である。

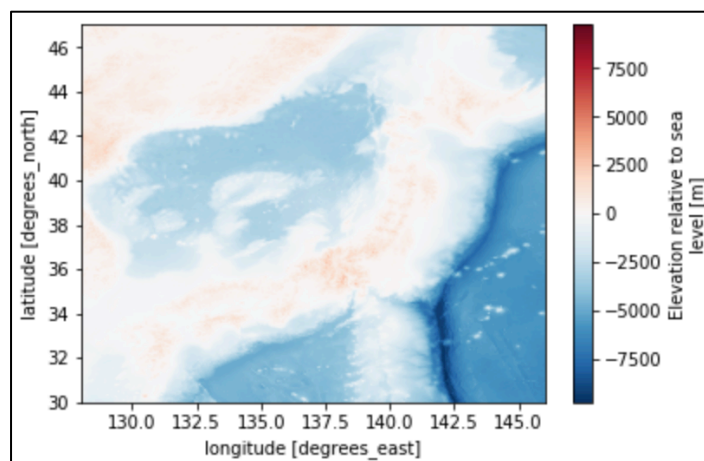


図 2-2-3：日本の水深マップ

データ出典：The General Bathymetric Chart of the Oceans
(https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data)
を基に作成

このデータを各藻場の平均座標±0.3度の範囲のデータを抽出し、抽出したデータの平均値を計算に使用する。該当するデータがなかった場合は、さらに±0.3度の範囲とし、最高

20 回抽出範囲を広げる。全ての藻場の平均座標において少なくとも 1 つのデータが取得できた抽出範囲が平均座標±0.3 度であるため、今回はこのように設定した。この方法で藻場ごとに抽出できた水深データの平均値を計算し、使用した。ただし、上記の方法により抽出・計算した藻場ごとの水深平均値は、アマモの平均分布水深（干出、砂面移動、海底到達光量などに依存する）から大きくずれてしまうものとなった。そこで、表 2-2-1 にまとめた環境省自然環境局 生物多様性センター（2018）を参考に、水深の最小値、最大値を各々 -6, 0 と設定した。各藻場の平均座標±0.3 度の範囲で該当するデータがあるまで抽出範囲を広げ、抽出し、その平均値を算出した。

表 2-2-1：日本各地点のアマモ生育座標・水深

データ出典：環境省自然環境局生物多様性センター（2018）を基に作成

地名		緯度	経度	水深		備考
		WGS84 (度)		最小値	最大値	
				m	m	
厚岸	アイニンカップ	43	144.86	-1	-5	生物量はオオアマモ
	厚岸湖	43.07	144.91	0	-2	正確に言うと、水深最低値は0以上
大槌	吉里吉里	39.37	141.95	-4	-6	
	根浜	39.33	141.9	-1	-4	
富津		35.32	139.8	-3		
安芸灘生野島	生野島	34.3	132.91	-0.9	-3	下限は-7
指宿		31.17	130.59	-0.5	-1.7	アマモ単独
石垣伊土名	石垣	24.49	124.23			アマモ類の分布種数が日本で最も多い地区の1つだが、アマモはない
室蘭		42.31	140.99			スガモ

2-2-3.境界条件

本研究では、境界条件として全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度、水温を設定した。以下、データベースとその抽出方法詳細を示す。

2-2-3-1.全天日射量の日積算量の月別平年値とデータ抽出方法

使用したデータは、自然科学研究機構 国立天文台編 理科年表オフィシャルサイト 理科年表プレミアム (<https://www.rikanenpyo.jp>) より入手した。全天日射量の日積算量の月別平年値データについては、①統計開始年からまとめられた各地点の測定データに②観測地点座標データを加えたものを作成し、計算に使用した。なお、このデータは 1971～1974 年のいずれかから統計を開始し、2000 年までの統計データを平均した値と 1981 年～2010 年までの統計データを平均した値の 2 種類を用いた。

緯度、経度共に各藻場の平均座標±0.5 度の範囲のデータを抽出し、抽出したデータの平均値を計算に使用する。該当するデータがなかった場合は、さらに±0.5 度の範囲とし、最高 20 回抽出範囲を広げる。全ての藻場の平均座標において少なくとも 1 つのデータが取得

できた抽出範囲が平均座標±0.5度であるため、今回はこのように設定した。この方法で藻場ごとに抽出できた全ての全天日射量の日積算量の月別平年値データの月ごとの平均値を計算し、使用した。

2-2-3-2.透明度データと抽出方法

使用したデータは、国立環境研究所 環境数値データベース 公共用水域水質 (<http://www.nies.go.jp/igreen>) より入手した。透明度については①公共用水域の検体値データ(国立環境研究所環境数値データベース参照)の1999年1月から2010年12月までの11年間における平均透明度に、②年当たり地域ごとの測定点データ(国立環境研究所環境数値データベース参照)を加えたものを作成し、使用した。

このデータを緯度、経度共に各藻場平均座標±4.15度の範囲のデータを抽出し、抽出したデータの平均値を計算に使用する。該当するデータがなかった場合は、さらに±4.15度の範囲とし、最高20回抽出範囲を広げる。全ての藻場の平均座標において少なくとも1つのデータが取得できた抽出範囲が平均座標±4.15度であるため、今回はこのように設定した。この方法で藻場ごとに1999年から2010年までの10年分のデータにおいて抽出できたデータ全てから月ごとに平均値を計算し、使用した。

2-2-3-3.水温データと抽出方法

使用したデータは National Oceanic and Atmospheric Administration (https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search) から入手した日平均データを用いた。期間は2008年1月から2017年12月までの10年間である。解像度は、緯度、経度共に0.25度(lat)×0.25度(lon)である。図2-2-4にデータを用いて作成した水温マップの1例を示す。

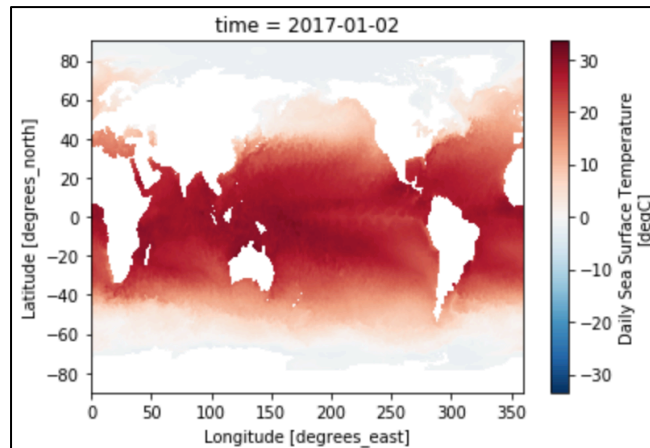


図 2-2-4：2017 年 1 月 2 日の水温分布図(例)

データ出典：National Oceanic and Atmospheric Administration
(https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search) を基に作成

まず、この水温データを構成する座標点ごとの月平均値を計算し、アレンジした。次に、緯度、経度共に各藻場の平均座標 ± 0.4 度の範囲で先ほどアレンジしたデータを抽出し、抽出できたデータの平均値を計算に使用する。該当するデータがない場合は、さらに ± 0.4 度の範囲とし、最高 20 回抽出範囲を広げる。全ての藻場の平均座標において少なくとも 1 つのデータが取得できた抽出範囲が平均座標 ± 0.4 度であるため、今回はこのように設定した。この方法で藻場ごとに抽出できたデータから月ごとに平均値を計算し、使用した。

2-3.二酸化炭素吸収量の推定方法

本研究ではアマモの純一次生産量から枯死量を差し引いたものを生長量と定義し、1 節(2-1)で示した数値モデルを用いてアマモの生長量を試算する。そして、生長量の試算結果を用いて藻場による二酸化炭素吸収量を推算する。

まず、本沿岸域に分布する藻場による月あたり $1 \text{ (m}^2\text{)}$ あたりの生長量 (gDW m^{-2}) を、乾燥重量ベースで 1 (ha) あたり月あたりの生長量 (tDW ha^{-1}) に積算した。次に、各藻場の面積 (ha) を乗じた。期間は 10 年間とし、年ごと・月ごとに集計した。

次に、既往研究より、アマモの乾燥重量のうち 35% が平均的な炭素量 (鬼東ら, 2014) であるとされている。今回は藻場ごとの生長量 (tDW ha^{-1}) に 35% を乗じることで、生長量を二酸化炭素吸収量 ($\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$) に換算した。

また、既往文献より、海草を起源とし長期的に海中に隔離される炭素は 21% とされている。

る (Duarte and Krause-Jensen,2017). 今回は藻場が海中に取り込んだ二酸化炭素のうち、長期的に貯留される割合を掛け合わせ、二酸化炭素吸収量を求める。

3.藻場現存量の計算結果および考察

本研究の目的は二酸化炭素吸収量を試算することであるが、現時点では日本沿岸域全体を対象に各藻場の二酸化炭素吸収量を試算した研究はまだないため、この見積もり結果そのものを検証することはできない。そのため、藻場地上部現存量の計算結果を既往研究の実測値と比較し、計算結果の妥当性を検証する。

本章では、まず1節(3-1)で2章に示したモデルを用いた藻場地上部現存量の計算結果を示す。次に、この計算結果を基に、2節(3-2)、3節(3-3)で既往研究と本計算結果を比較・検証する。そして、4節(3-4)では、水温、光、空間のパラメータ5つについて感度分析を行う。また、推定精度を高めるための検討を行う。5節(3-5)では本計算結果の時系列変化の分析、6節(3-6)では本計算結果の緯度別の分析を行う。

3-1. 藻場現存量計算結果

各藻場地上部年間平均現存量の計算結果の頻度分布を図3-1に示す。縦軸が藻場地上部年間平均現存量 (gDW m⁻²)、横軸が年である。

図より、年ごとにばらつきがみられる。1年目、2年目のばらつきは他の年と比較すると小さい。3年目から全体のばらつきの幅はほぼ同じ範囲となっている。年が経過するにつれて藻場地上部年間平均現存量が徐々に約400~500 (gDW m⁻²) に集中する傾向がみられる。また、8~10年目にかけて平均値の変化が全体と比較すると小さいことが読み取れた。

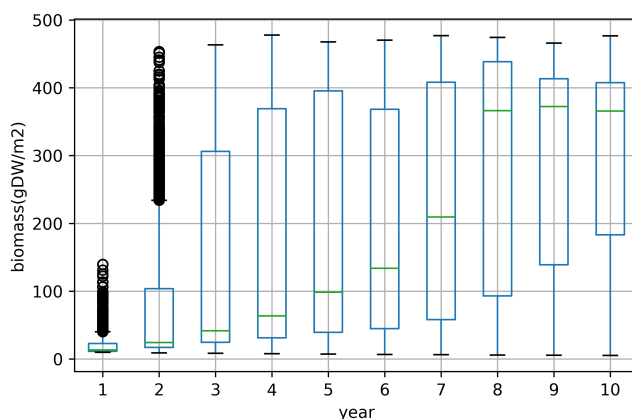


図 3-1 : 藻場地上部年間平均現存量の時系列変化

3-2.既往研究の計算結果・実測調査結果との比較・検証・考察

この節(3-2)では、数値モデルを用いてシミュレーションを行い、実測調査と比較分析した樽谷ら(2011)の計算結果、藤原ら(2009)の実測調査結果と比較し、本研究における計算結果の妥当性について検証する。

3-2-1.既往研究との比較・検証

樽谷ら(2011)によるアマモ場現存量計算結果と、藤原ら(2009)のアマモ場実測調査結果を、本計算結果と比較し、計算結果の妥当性を検証する。既往研究中の試算結果グラフをPlotDigitizerX、WebPlotDigisterを用いて数値化し、検証に使用した。

既往研究との検証対象とした藻場を図3-2-1に示す。小豆島に分布する藻場である。

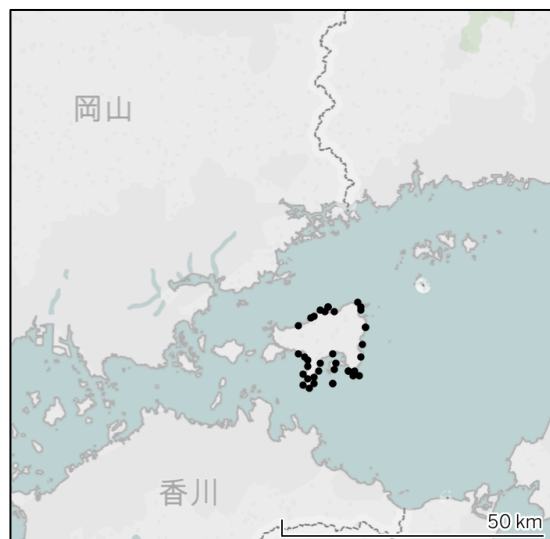


図 3-2-1：対象藻場の分布図（小豆島）

データ出典：第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査（環境省生物多様性センター）
GISデータ（<http://gis.biodic.go.jp>）を使用し作成

樽谷ら(2011)による計算結果、藤原ら(2009)による実測調査の結果、樽谷ら(2011)による計算結果に合うようチューニングした計算結果と本計算結果を図3-2-2に示す。

グラフ詳細について説明する。検証には9年目5月～10年目4月の計算結果を使用した。横軸が月、縦軸が藻場地上部の現存量(gDW m^{-2})である。グラフについて、樽谷ら(2011)による計算結果を青ドット、藤原ら(2009)による実測結果をオレンジドット、樽谷ら(2011)

の計算に合うようにチューニングした計算結果を緑ドット、本研究での計算結果を黒の棒グラフで示した。

樽谷ら（2011）の計算に合うようにチューニングした際の計算条件について説明する。水温データは藤原ら（2009）の観測結果、全天日射量 (Sr) は気象庁の 2006 年 5 月～2007 年 6 月の観測結果、全天日射量の海表面での減衰率は 50%，水深は-1 (m)，海水中での消散係数は $0.2 \text{ (m}^{-1}\text{)}$ である。なお、栄養塩とアマモの生活史（年齢）に関する成長制限項については考慮していない。2006 年 4 月アマモ場現存量（初期条件）は $100 \text{ (gDW m}^{-2}\text{)}$ とした。

本研究での計算結果と既往研究の実測調査の結果、既往研究の計算結果を比較すると、最大値は本研究での計算結果が、既往研究の実測調査の結果と既往研究の計算結果のそれにくらべて約 $50 \text{ (gDW m}^{-2}\text{)}$ 大きい値となっている。また、本研究での計算結果について、1 年を通して変化はあるものの、既往研究の実測調査の結果、既往研究の計算結果を比較すると、減少率が小さく、季節変化が小さい。1 年を通して多くの月で約 $300 \text{ (gDW m}^{-2}\text{)}$ を維持しており、衰退期の後、1, 2 ヶ月で約 $300 \text{ (gDW m}^{-2}\text{)}$ まで増加する。

樽谷ら（2011）の計算結果に合うようにチューニングした計算結果について、樽谷ら（2011）の計算結果と比較すると、減少率が小さいことから、季節変化が小さい。そして、9～4 月にかけて、差が約 $400 \text{ (gDW m}^{-2}\text{)}$ ほどある。既往研究の実測調査結果と比較すると、全体的に樽谷ら（2011）の計算結果のほうが実測調査と近い結果となっている。

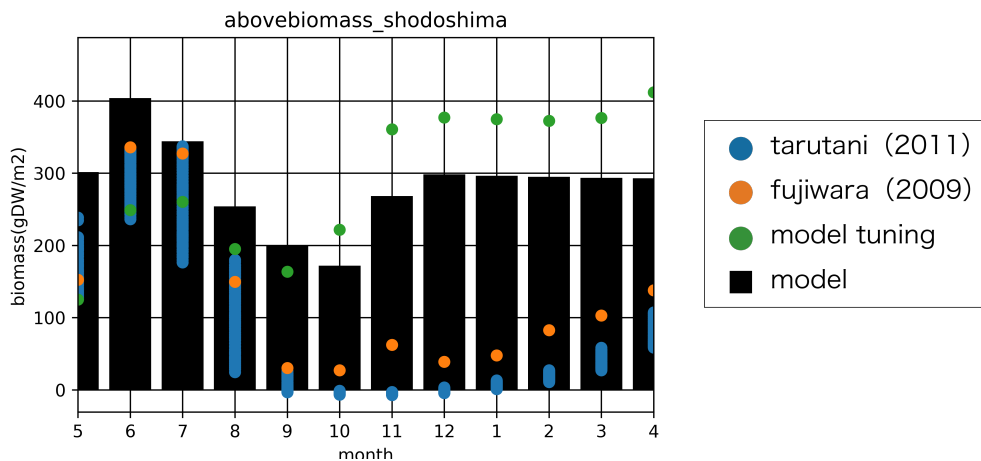


図 3-2-2：アマモの生長・枯死過程シミュレーション結果

3-2-2. 考察

数値モデル系の既往研究による計算結果と既往研究による対象地点に分布する藻場の実測調査結果との比較結果について考察する。

本研究の計算結果と、樽谷ら（2011）の計算結果、藤原ら（2009）の実測調査の結果を比較すると、最大値の差は約 50 (gDW m⁻²) と比較的小さい。しかし、既往研究の計算結果と実測調査と比較すると、1 年間を通して減少量が小さいことから、季節変化が小さい。また、樽谷ら（2011）の計算結果に合うようチューニングした計算結果について、樽谷ら（2011）の計算結果と比較しても、1 年間を通して減少量が小さいことから、季節変化が小さい。

このように本研究での計算結果と既往研究に合うようチューニングした計算結果を既往研究と比較すると差が見られたことについて、水温の生長制限項の詳細な算出方法と水面直下の水中光量の詳細な推定式が異なることにより、計算結果が一致しなかった可能性が考えられる。しかし、実際のところは不明であるため今後精査する必要があると考えられる。

3-3.既往研究の実測調査結果との比較・検証・考察

この節（3-3）では、鬼東ら（2011）、吉田ら（2011）、河野ら（2012）による緯度の離れた 3 地点でのアマモ場の実測調査と本計算結果を比較・分析し、日本全域でパラメータを統一した計算結果と実測調査結果との差を確認する。

3-3-1.既往研究との比較・検証

鬼東ら（2011）、吉田ら（2011）、河野ら（2012）による、日本 3 地点でのアマモ場の実測調査結果と本研究での計算結果を比較・分析する。緯度の異なる 3 地点ごとに実測調査と比較することで、それぞれの計算結果がどの程度現実的なのかを把握する。既往研究中の試算結果グラフ画像を WebPlotDigister を用いて数値化・グラフ化し、本研究の計算結果と比較・分析した。

既往研究との検証対象とした藻場を図 3-3-1～図 3-3-3 に示す。鬼東ら（2011）の実測調査の平均値と比較する計算結果は、図 3-3-1 に示す、北海道（厚岸湖）に分布する藻場の計算結果である。吉田ら（2011）の実測調査と比較する計算結果は、図 3-3-2 に示す、千葉県（富津）に分布する藻場の計算結果である。河野ら（2012）の実測調査と比較する計算結果は、図 3-3-3 に示す、鹿児島県（見ヶ水海岸）に分布する藻場の計算結果である。



図 3-3-1：対象藻場の分布図（厚岸湖）

データ出典：第 4 回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査（環境省生物多様性センター）
GIS データ（<http://gis.biodic.go.jp>）を使用し作成

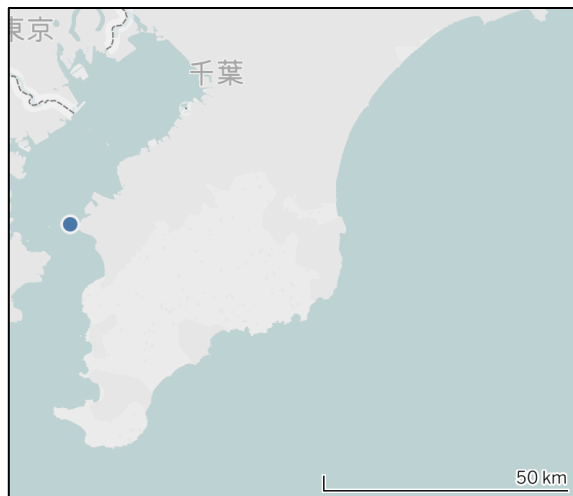


図 3-3-2：対象藻場の分布図（富津）

データ出典：第 4 回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査（環境省生物多様性センター）
GIS データ（<http://gis.biodic.go.jp>）を使用し作成

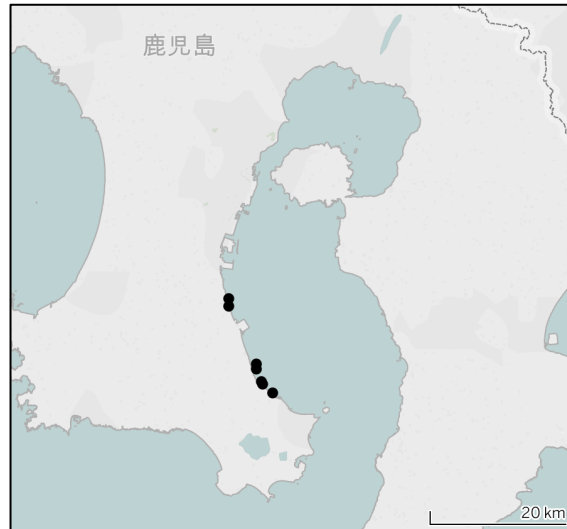


図 3-3-3：対象藻場の分布図（児ヶ水）

データ出典：第 4 回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査（環境省生物多様性センター）
GIS データ（<http://gis.biodic.go.jp>）を使用し作成

北海道（厚岸湖）に分布する藻場の計算結果と，鬼東ら（2011）による実測調査の結果を図 3-3-4 に示す。

グラフ詳細と計算手法について説明する。水温，全天日射量の日積算量の月別平年値，透明度はそれぞれ 3 年目 5 月～4 年目 4 月のデータを 10 年間与え続け，10 年目の計算結果を検証に用いた。横軸が月，縦軸が藻場地上部の現存量（gDW m⁻²）である。既往の実測調査の結果が黒ドットであり，本研究での計算結果が棒グラフである。

まず，本研究での計算結果は実測調査の結果と差がみられることが読み取れる。とくに，既往研究の実測調査結果の最大値は，本研究で設定した 500（gDW m⁻²）ほどの値がみられるが，本研究では 1 年を通して約 10（gDW m⁻²）の値がみられる。本研究の計算結果では，1 年を通して藻場地上部現存量が 10（gDW m⁻²）に留まり，それ以上生長せず，なくなることもない。また，微量な変化はあるものの，季節変化もみられない。

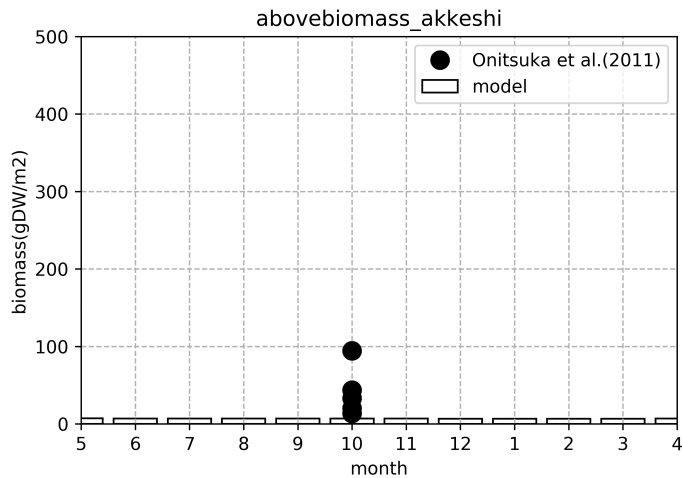


図 3-3-4：現存量の計算結果時系列変化と実測調査（北海道：厚岸湖）

鬼東ら（2011）を基に作成

千葉県（富津）に分布する藻場の計算結果と、吉田ら（2011）による実測調査の結果を
図 3-3-5 に示す。

グラフ詳細について説明する。水温，全天日射量の日積算量の月別平年値，透明度はそれぞれ 3 年目 5 月～4 年目 4 月のデータを 10 年間与え続け，定常化がみられた 3 年目の計算結果を検証に用いた。横軸が月，縦軸が藻場地上部の現存量（gDW m⁻²）である。既往の実測調査の結果が黒ドットであり，本研究での計算結果が棒グラフである。

図より，本研究での計算結果の最大値は，実測調査の結果（最大値）よりも大きい値となっていることが読み取れる。しかし，吉田ら（2011）によると，昨夏の高水温がアマモの生理に多大な影響を与え，大規模な衰退が起こったことで，この現存量になったことが考察されている。そのため，吉田ら（2011）による実測値がこの地点の標準的な季節変化であるとは考えにくい。今後，実測調査によるデータの蓄積が必要である。

次に，8～11 月にかけて減少するため衰退期がみられる。こちらは，一般的にいわれるアマモの生活史と一致している。今回は 500（gDW m⁻²）を最大現存量と設定したが，ほぼ 1 年を通して約 500（gDW m⁻²）付近の最大量に近い値を維持する傾向がみられる。最小値も実測調査の結果より大きい。

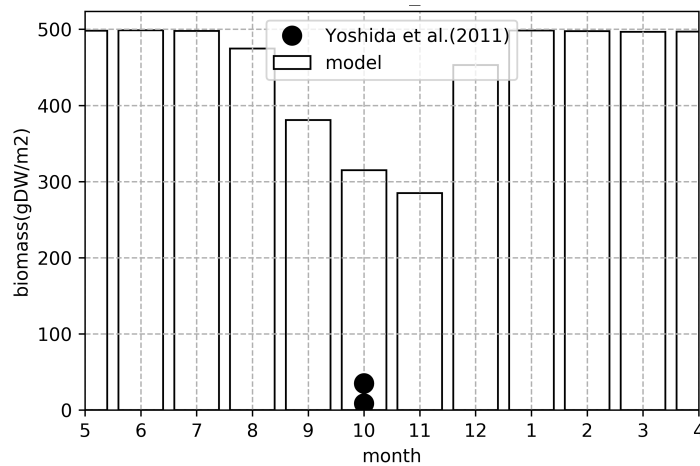


図 3-3-5：現存量の計算結果時系列変化と実測調査（千葉県：富津）
吉田ら（2011）を基に作成

鹿児島県（児ヶ水海岸）に分布する藻場の計算結果と、河野ら（2012）による実測調査の結果を図 3-3-6 に示す。

グラフ詳細について説明する。水温，全天日射量の日積算量の月別平年値，透明度はそれぞれ 3 年目 5 月～4 年目 4 月のデータを 10 年間与え続け，定常化がみられた 3 年目の計算結果を検証に用いた。横軸が月，縦軸が各藻場地上部の現存量（ gDW m^{-2} ）である。既往の実測調査の結果が黒ドットであり，本研究での計算結果が棒グラフである。

図より，本研究での計算結果は，実測調査の結果（特に最大値）よりも約 $150 \text{ (gDW m}^{-2}\text{)}$ 大きいものとなっていることが読み取れる。しかし，他の 2 地点と比較すると，実測調査との最大値の差は比較的小さいことがわかる。1 年を通した変化は，他の 2 地点と比較すると大きく，一般的にアマモの生活史における衰退期と言われている 7～11 月に衰退傾向がみられる。一方，既往研究と比較すると減少率が小さく，季節変化も小さいものとなっていることがわかる。

また，今回は $500 \text{ (gDW m}^{-2}\text{)}$ を最大現存量と設定したが，3～6 月を通して約 $500 \text{ (gDW m}^{-2}\text{)}$ という最大量を維持する傾向がみられる。

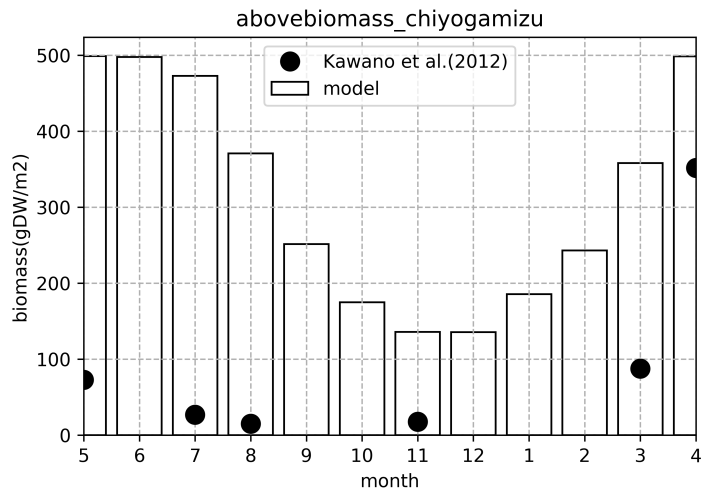


図 3-3-6：現存量の計算結果時系列変化と実測調査（鹿児島県：児ヶ水海岸）
河野（2012）を基に作成

3-3-2. 考察

緯度の異なる 3 地点における実測調査との検証結果について考察する。まず、北海道（厚岸湖）は、既往研究の実測調査結果と比較すると 1 年を通して現存量が小さく、季節変化もみられない。千葉県（富津）の現存量は 1 年を通して最大値に近い現存量を維持し、季節変化もほぼみられず、実測調査との差が大きいものとなった。鹿児島県（児ヶ水海岸）については他の 2 地点と比較すると季節変化がみられ、実測調査との差が比較的小さいが、実測調査との差はあることがわかった。まとめると、全体的に実測調査と比較すると減少量が小さいこと、地点ごとに実測調査との差が異なることがわかった。

まず、減少量が小さいことについて、2 節(3-2)で既述した通り、水温の生長制限項の詳細な算出方法と水面直下の水中光量の詳細な推定式について再検討する必要があると考えられる。また、それぞれ実測調査との差が異なる結果が得られたことから、各パラメータを地点ごとに設定することで藻場現存量を精度高く推定できるのではないかと考えられる。そのために、計算条件である水温データ、全天日射量の日積算量の月別平均値データ、透明度データ、そして、水深 Z (m) における水中光量の推定値 $L(Z)$ について地点ごとの差を分析すること、各パラメータの感度分析をすることが必要であると考えられる。

3-4. データとパラメータの分析

この節 (3-4) では、推定方法の精度を高めるための改善点を明らかにすることを目的に、

大きく2つの分析を行った。まず、1項(3-4-1)にて、緯度の離れた3地点における各データを比較・分析し、地点ごとの差を把握する。次に、2項(3-4-2)では水温、光、空間に関する5つのパラメータの感度分析を行い、今後重点的に精査する必要のあるパラメータの考察を試みる。3項(3-4-3)では感度分析の結果をまとめ、考察し、4項(3-4-4)では、水温に関するパラメータの設定方法を検討する。

3-4-1.緯度の異なる3地点に着目した計算条件と推定値の分析

緯度の異なる北海道(厚岸湖)、千葉県(富津)、鹿児島県(児ヶ水海岸)の3地点における計算条件について分析・考察する。

計算条件として藻場ごとに与えた水温、全天日射量の日積算量の月別平均値、透明度のデータについて3地点で比較し、どの程度差があり、どのような傾向がみられるのか分析する。北海道(厚岸湖)、千葉県(富津)、鹿児島県(児ヶ水海岸)の3地点における水温データを図3-4-1、全天日射量の日積算量の月別平均値データを図3-4-2、透明度データを図3-4-3に表す。それぞれ10年間の各月の平均値を算出し、グラフにした。

まず、水温については北海道(厚岸湖)が他の2地点と比較して差が比較的大きくみられ、1年を通して20(°C)に到達しない。千葉県(富津)と鹿児島県(児ヶ水海岸)の2地点の差は約3~4(°C)であり、北海道(厚岸湖)と比較すると差が小さい。緯度が高い地点ほど、一年を通して水温が高いことがわかる。また、3地点全てにおいて8、9月に最大値となり、2、3月に最小値となる時系列変化がみられる。

全天日射量の日積算量の月別平均値については、水温データと比較すると、地点ごとの差が小さい。3地点において、4~7月頃に最大値がみられ、8~12月にかけて下降し、1月から上昇するという時系列変化がみられる。

透明度について、千葉県(富津)の透明度は他の2地点と比較すると1年を通して高い。北海道(厚岸湖)と鹿児島県(児ヶ水海岸)の2地点の差は小さい。3地点において、1年間のうち、1~2月付近の透明度が高い傾向がみられる。

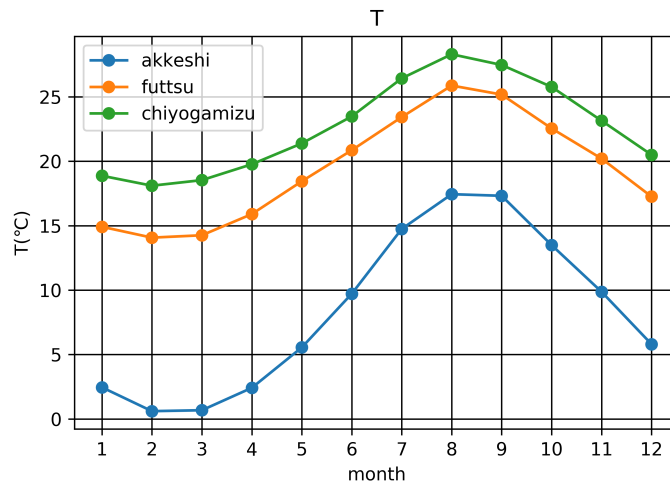


図 3-4-1 : 水温データ

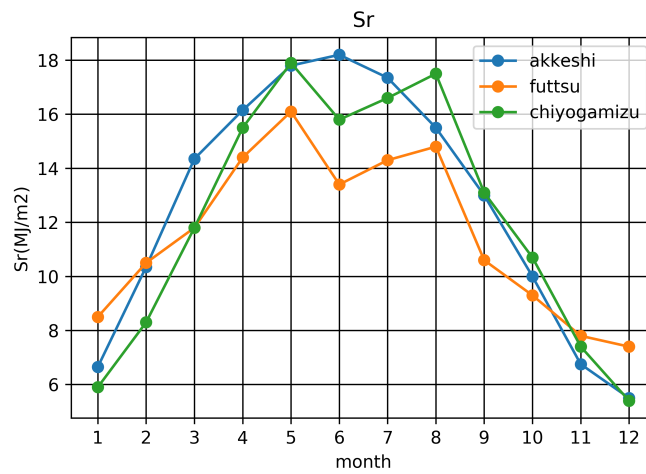


図 3-4-2 : 全天日射量の日積算量の月別平均値データ

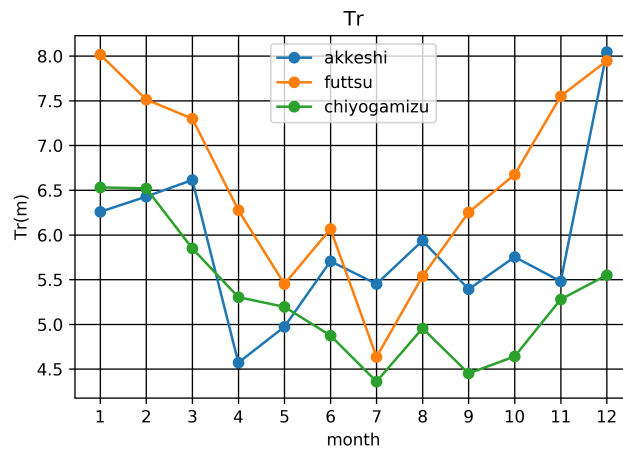


図 3-4-3 : 透明度データ

以上の結果を踏まえると、データによって地点ごとの差が異なることがわかった。データの中では特に水温について地点ごとの差が大きくみられた。この結果から、パラメータの中でも、水温に関するパラメータを再検討することが重要であると考えられる。

3-4-2.緯度の異なる地点に着目したパラメータの感度分析

前項(3-4-1)の分析結果より、地点ごとにデータの差がみられることがわかった。この節(3-4-2)では、水温、光、空間に関する5つのパラメータの値について感度分析を行い、計算結果への影響が大きいパラメータの考察を試みる。

3-4-2-1.水温に関するパラメータ TOPT の感度分析 (f(T)の時系列変化)

好的水温 TOPT (水温に関するパラメータ) を複数設定し、水温に関する生長制限項を計算した。水温に関する生長制限項 f(T)の時系列変化を図 3-4-4 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道(厚岸湖)、千葉県(富津)、鹿児島県(児ヶ水海岸)のグラフである。縦軸は水温に関する生長制限項 f(T)、横軸が月である。水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度はそれぞれ10年間の各月平均値を10年間与え続け、10年目の計算結果をグラフに示した。今回、f(T)を算出する際に用いたパラメータ好適水温 TOPT について、既往研究(Bocciら, 1997, 金澤ら, 2006)を参考に10, 15, 20と設定し、計算した結果を図に示す。

北海道(厚岸湖)については、TOPTを20にした場合、1年を通してf(T)が約0を維持する期間が比較的大きい。TOPTを10, 15にすると、f(T)の値が大きい期間が増える。f(T)のピークが夏場にみられる。

次に、千葉県(富津)については、TOPTを10にした場合、1年を通してf(T)が約0を維持する期間が比較的大きい。TOPTを15にした場合、一般的なアマモの生活史に近い形がみられる。TOPTを20にした場合、1年を通して最大値をとる月が2回、最低値をとる月が2回となる。

最後に、鹿児島県(児ヶ水海岸)については、TOPTを10にした場合、1年を通してf(T)が約0を維持する。TOPTを15にした場合、1年を通してf(T)が約0をとる範囲が、TOPTを20にした場合と比較すると大きい。TOPTを20にした場合、一般的なアマモの生活史に近い形がみられる。

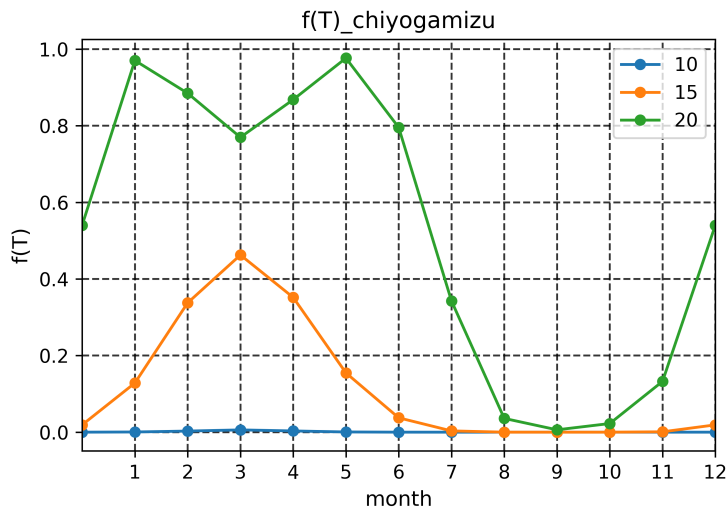
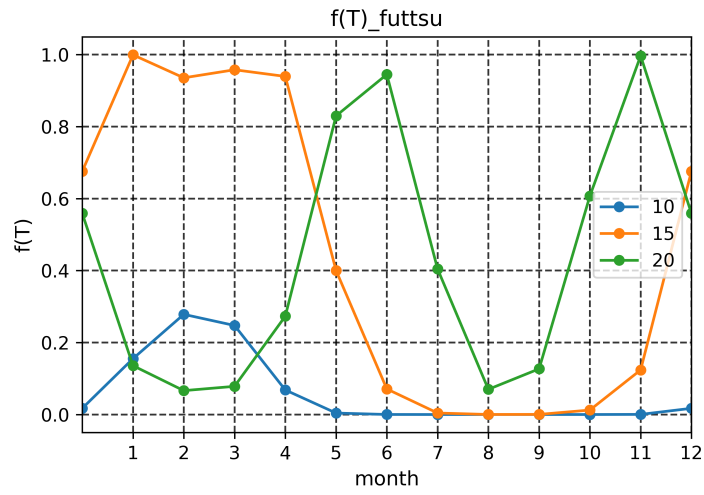
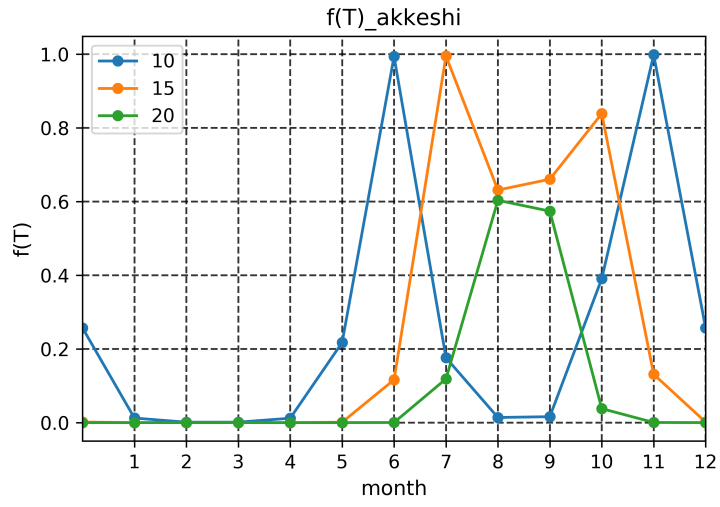


図 3-4-4：水温に関する生長制限項の時系列変化(TOPT)

3-4-2-2. 水温に関するパラメータ ST の感度分析 (f(T)の時系列変化)

水温に依存する生長係数 ST (水温に関するパラメータ) を複数值設定し、水温に関する生長制限項を計算した。水温に関する生長制限項 f(T)の時系列変化を図 3-4-5 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道 (厚岸湖)、千葉県 (富津)、鹿児島県 (児ヶ水海岸) のグラフである。縦軸は水温に関する生長制限項 f(T)、横軸が月である。水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度はそれぞれ 10 年間の各月平均値を 10 年間与え続け、10 年目の計算結果をグラフに示した。今回、f(T)を算出する際に用いたパラメータの水温に依存する生長係数 ST について、既往研究 (Bocci ら, 1997, 金澤ら, 2006) を参考に 3.6, 4.8, 6 と設定し、計算した結果を図に示す。

図より、3 地点すべてにおいて、ST の値を変えると f(T)の値は変化するが、その時系列変化はほとんど同じであることがわかる。また、ST を大きくすると f(T)の値が大きくなる。

北海道 (厚岸湖) については、f(T)の値が約 0 となる期間が 6~11 月頃であり、他の 2 地点と比較すると長い。どの凡例においても f(T)の値が大きくなるのは 8, 9 月付近である。

また、千葉県 (富津) については 2~4 月、7~9 月に f(T)の値が小さくなり、6 月、11 月にそれぞれ f(T)の値が約 1 になっている。

鹿児島県 (児ヶ水海岸) については 7~10 月は f(T)の値が 0 に近づくが、12~5 月は f(T)の値について約 1 を維持している。

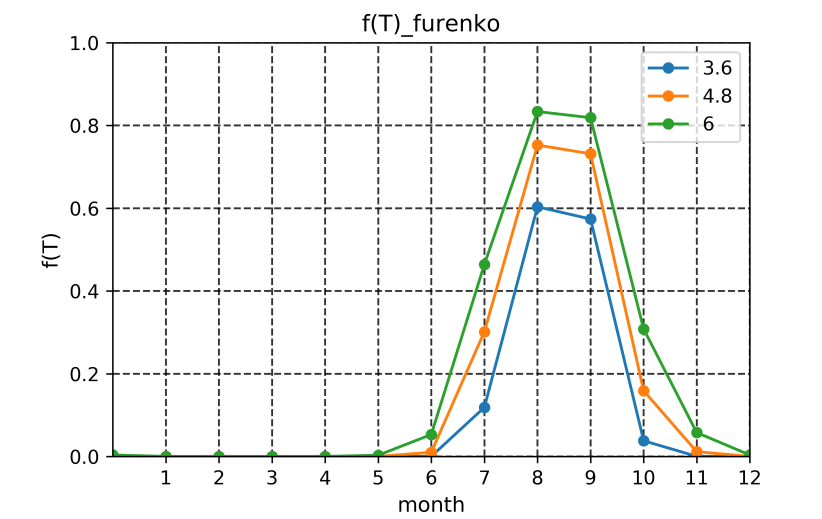


図 3-4-5：水温に関する生長制限項の時系列変化(ST)

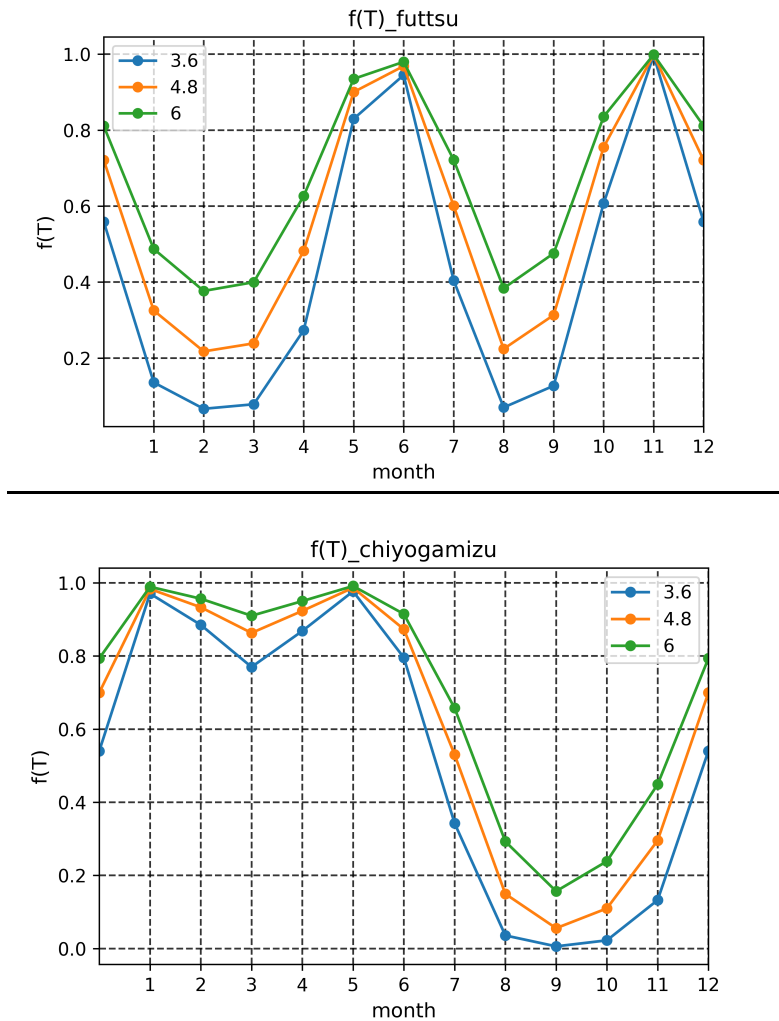


図 3-4-5：水温に関する生長制限項の時系列変化(ST)（続き）

3-4-2-3.水温に関するパラメータ TOPT の感度分析 (f(T)と T の関係性)

好的水温 TOPT (水温に関するパラメータ) を複数設定し、水温に関する生長制限項 f(T) を計算した。水温に関する生長制限項 f(T) と水温 T との関係性を図 3-4-6 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道 (厚岸湖)、千葉県 (富津)、鹿児島県 (児ヶ水海岸) のグラフである。縦軸は水温に関する生長制限項 f(T)、横軸が水温 T (°C) である。水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度はそれぞれ年別月別のデータを 10 年間与え続け、f(T) の計算結果をグラフに示した。今回、f(T) を算出する際に用いたパラメータの好適水温 TOPT について、既往研究 (Bocci ら, 1997, 金澤ら, 2006) を参考に、10, 15, 20 と設定し、計算した結果を図に示す。

まず、TOPT10, 15, 20 全ての場合において、値が 0 以外を取るのは各 TOPT±約 7.5 (°C) の範囲である。

北海道（厚岸湖）については、他の2地点と比較すると、TOPT20、TOPT15の場合において、 $f(T)$ が約0になる水温データ値の割合が大きく、生長制限がかかりやすい。TOPT10の時は、他の2地点と比較すると、 $f(T)$ の値が小さく、水温に関する生長制限がかかりにくい水温データ値の割合が大きくなる。TOPTの値が小さい方が、 $f(T)$ が大きい値をとる水温データ値の割合が大きい。

次に、千葉県（富津）については、TOPT10にした場合、 $f(T)$ が約0を維持する水温データ値の割合がTOPT15、20の場合と比較して大きい。TOPT20の場合は $f(T)$ が大きい値をとる水温データ値の割合が大きい。

最後に、鹿児島県（児ヶ水海岸）については、TOPT10、TOPT15にした場合、 $f(T)$ が約0となる水温データ値の割合がTOPT20にした場合と比較して大きい。TOPT10にした場合はほとんどの水温データ値が約0をとる。TOPT20にした場合は、 $f(T)$ が大きい値をとる水温データ値の割合が大きい。

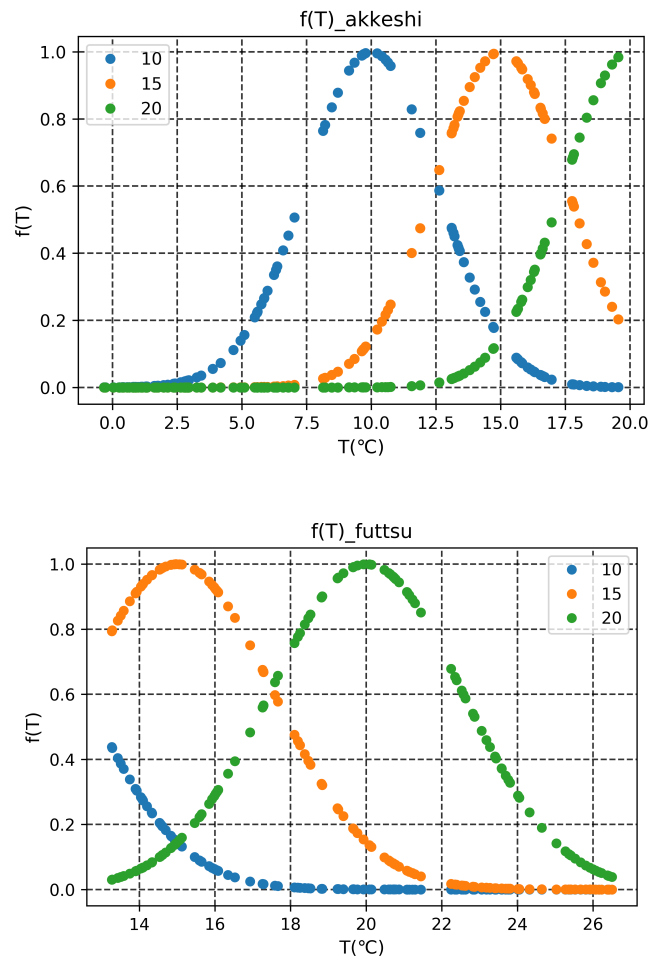


図 3-4-6：水温に関する生長制限項と水温の関係(TOPT)

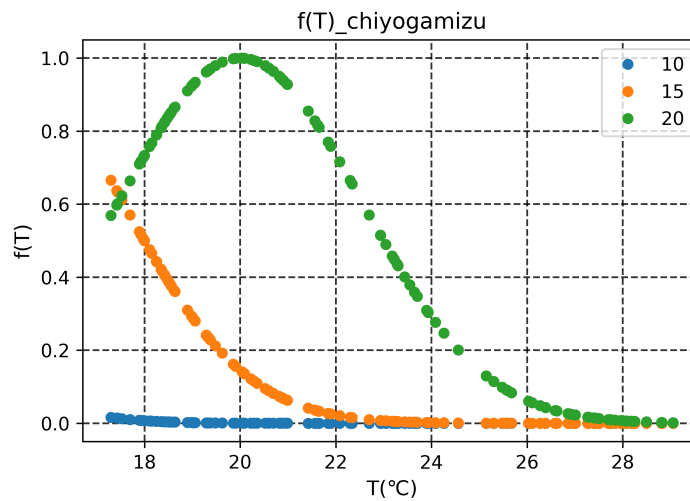


図 3-4-6：水温に関する生長制限項と水温の関係(TOPT) (続き)

3-4-2-4. 水温に関するパラメータ ST の感度分析 (f(T)と T の関係性)

水温に依存する生長係数 ST (水温に関するパラメータ) を複数設定し水温に関する生長制限項 f(T)を計算した。水温に関する生長制限項 f(T)と水温 T との関係性を図 3-4-7 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道 (厚岸湖)、千葉県 (富津)、鹿児島県 (児ヶ水海岸) のグラフである。縦軸は水温に関する生長制限項 f(T)、横軸が水温 T (°C) である。水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度はそれぞれ年別月別のデータを 10 年間与え続け、f(T)の計算結果をグラフに示した。今回、f(T)を算出する際に用いた水温に依存する生長係数 ST は、既往研究 (Bocci ら, 1997, 金澤ら, 2006) を参考に、3.6, 4.8, 6 と設定し、計算した結果を図に示す。

3 地点を比較すると、千葉県 (富津) は f(T)の値が大きく、水温に関する生長制限がかかりにくい水温データ値の割合が大きいことがわかる。その次に鹿児島県 (児ヶ水海岸) f(T)の値が大きく、水温に関する生長制限がかかりにくい水温データ値の割合が大きいことがわかる。水温に関する生長制限がかかりやすい水温データ値の割合が一番大きいのが北海道 (厚岸湖) である。特に北海道 (厚岸湖) においては他の 2 地点と比較すると水温が低いいため、f(T)が約 0 になる水温データ値の割合が大きい。

f(T)について、T が 20 度に近づくほど f(T)が約 1 になり、T が約 10°Cに近づくとき f(T)が約 0 になる傾向がみられる。これは、ST の値を変化させても同様である。ST の値を大きくするほど T の値が同じでも f(T)の値が大きくなり、水温に関する生長制限がかかりにくくなることがわかる。

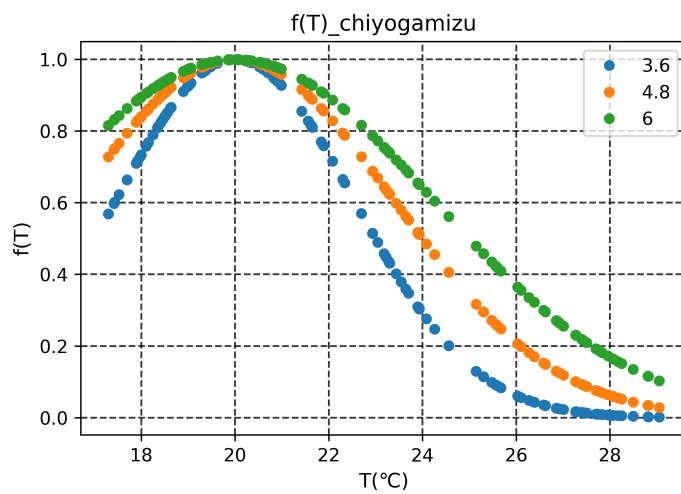
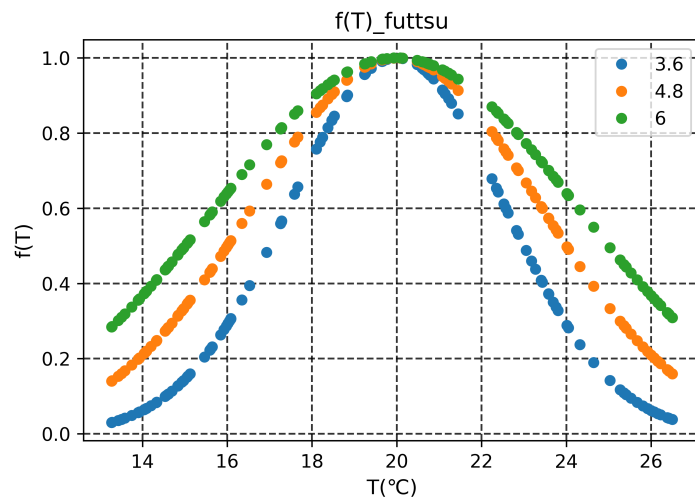
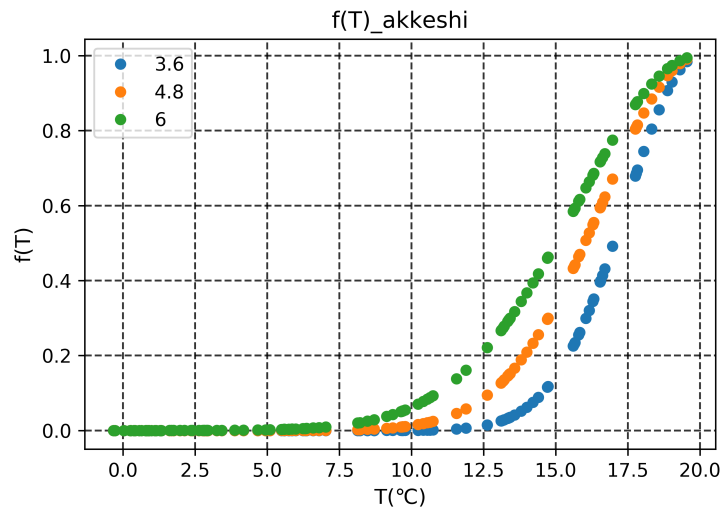


図 3-4-7：水温に関する生長制限項と水温の関係 (ST)

3-4-2-5.光に関するパラメータ KL の感度分析 (f(L)の時系列変化)

光量に関する半飽和定数 KL (光に関するパラメータ) を複数設定し、光に関する生長制限項 f(L)を計算した。光に関する生長制限項 f(L)の時系列変化を図 3-4-8 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道 (厚岸湖)、千葉県 (富津)、鹿児島県 (児ヶ水海岸) のグラフである。縦軸は光に関する生長制限項 f(L)、横軸が月である。水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度はそれぞれ 10 年間の各月平均値を 10 年間与え続け、10 年目の計算結果をグラフに示した。今回、f(L)を算出する際に用いた、光量に関する半飽和定数 KL(Kcal m² d⁻¹)について、既往研究 (Bocci ら, 1997) を参考に 1090, 2090, 3090, 4090 と設定し、計算した結果を図に示す。

f(L)の時系列変化をみると、3 地点において 4-6 月頃に最大値がみられ、1 月,11 月頃に最低値となっている。また、KL を変化させると f(L)の値そのものは変化するが、f(L)の時系列変化はほぼ同じである。KL の値が大きいくほど f(L)の値が小さくなる。

次に、各地点の凡例 KL2090 の、1 年間を通した f(L)の値の幅に着目する。北海道 (厚岸湖) は約 0.3~0.5、千葉県 (富津) は約 0.4~0.5、鹿児島県 (児ヶ水海岸) は約 0.3~0.5 である。KL の値を変化させても、1 年間を通した f(L)の値の幅は同様である。このことより、水温に関する生長制限 f(T)と比較すると、3 地点における f(L)の値の時系列変化と、f(L)の値そのものの差は小さいことが読み取れる。

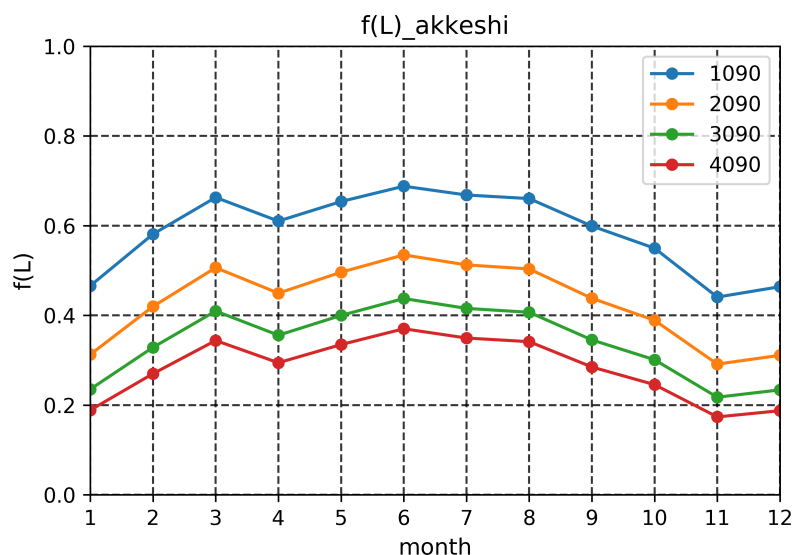


図 3-4-8 : 光に関する生長制限項の時系列変化

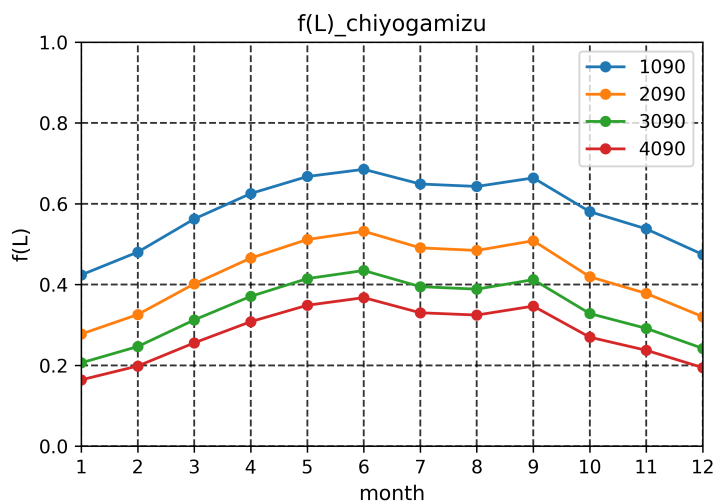
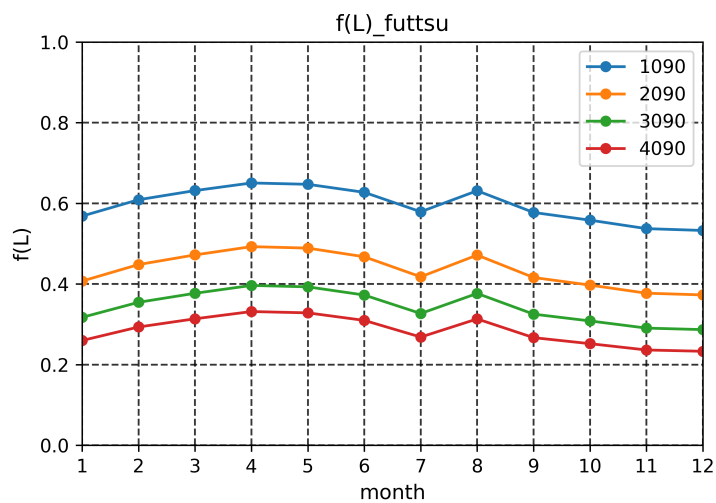


図 3-4-8：光に関する生長制限項の時系列変化（続き）

3-4-2-6. 光に関するパラメータ KL の感度分析 (f(L)と L(z)の関係性)

光量に関する半飽和定数 KL（光に関するパラメータ）を複数設定し，光に関する生長制限項 f(L)を計算した．光に関する生長制限項 f(L)と水深 Z（m）における水中光量 L(z)の関係性との関係性を図 3-4-9 に示す．

グラフ詳細について説明する．グラフは上から順に，北海道（厚岸湖），千葉県（富津），鹿児島県（児ヶ水海岸）のグラフである．縦軸は光に関する生長制限項 f(L)，横軸が水深 Z（m）における水中光量 L(Z)(KJ m² d⁻¹)である．水温，全天日射量の日積算量の月別平年値，透明度はそれぞれ年別月別のデータを 10 年間与え続け，f(T)の計算結果をグラフに示した．今回，f(L)を算出する際に用いた，光量に関する半飽和定数 KL(Kcal m² d⁻¹) について，既往研究（Bocci ら，1997）を参考に，1090，2090，3090，4090 と設定し，計算した結果

を図に示す。

3地点のすべての凡例においてグラフが直線的で、 $L(z)$ の値が大きくなるほど $f(L)$ の値が大きくなるため、相関関係があることが考えられる。KLの値を変化させても同様である。

北海道（厚岸湖）、鹿児島県（児ヶ水海岸）の傾斜が大きく、千葉県（富津）の傾斜が2点と比べると小さい。このことから $L(z)$ のとり範囲がそれぞれ微量に異なることがわかる。

また、3地点における Lz の最大値はそれぞれ約2000~2500である。今回はKLを1090, 2090, 3090, 4090と設定したが、 Lz の最大値よりも大きい値をとった検討は現実的ではない可能性が考えられる。

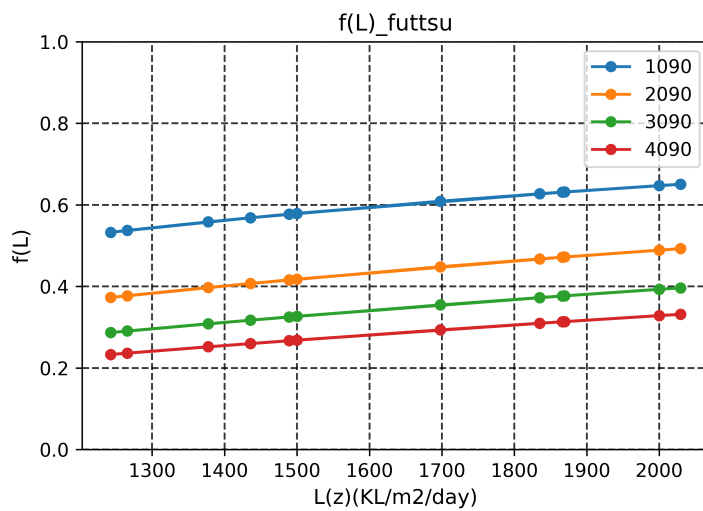
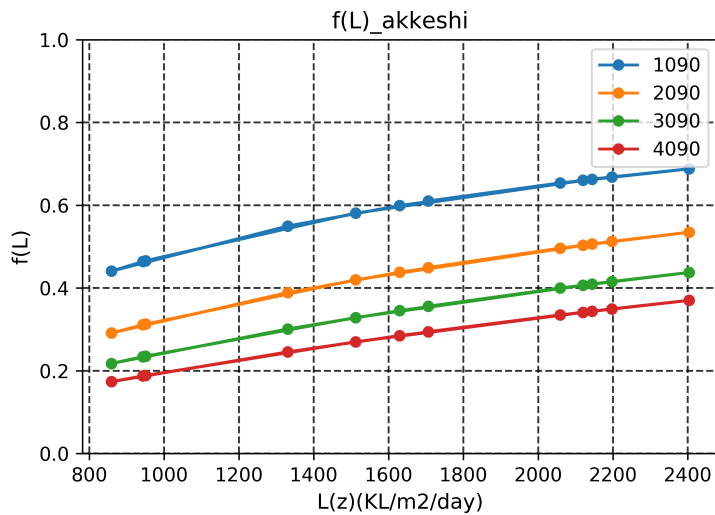


図 3-4-9：光に関する生長制限項と $L(z)$ の関係

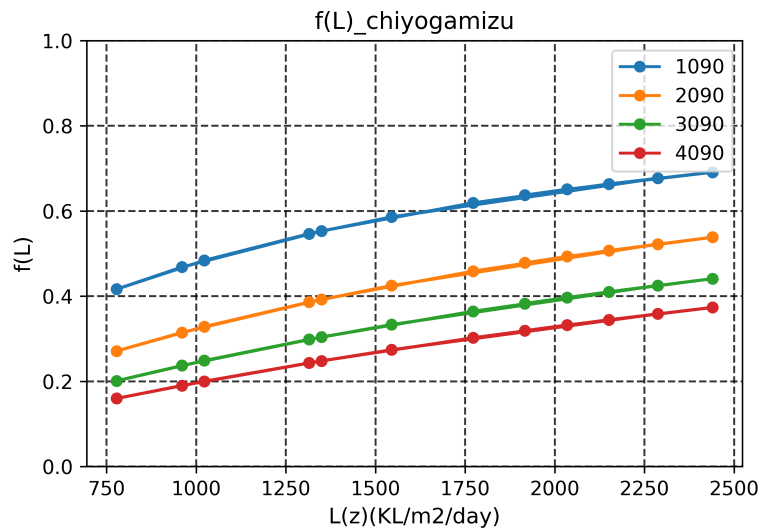


図 3-4-9：光に関する生長制限項と L(z) の関係（続き）

3-4-2-7. 光に関するパラメータ KL の感度分析 (f(L) と Sr の関係性)

光量に関する半飽和定数 KL（光に関するパラメータ）を複数設定し，光に関する生長制限項 f(L) を計算した．光に関する生長制限項 f(L) と全天日射量の日積算量の月別平均値 Sr の関係性を図 3-4-10 に示す．

グラフ詳細について説明する．グラフは上から順に，北海道（厚岸湖），千葉県（富津），鹿児島県（児ヶ水海岸）のグラフである．縦軸は光に関する生長制限項 f(L)，横軸が全天日射量の日積算量の月別平均値 Sr (MJ m⁻²) である．水温，全天日射量の日積算量の月別平年値，透明度はそれぞれ年別月別のデータを 10 年間与え続け，f(T) の計算結果をグラフに示した．今回，f(L) を算出する際に用いた，光量に関する半飽和定数 KL (Kcal m⁻² d⁻¹) について既往研究 (Bocci ら，1997) を参考に，1090，2090，3090，4090 と設定し，計算した結果を図に示す．

図より，Sr が大きい値をとると f(L) の値が大きい場合が多くみられるが，Sr と f(L) が必ずしも比例しないことが読み取れる．これについては，f(L) を算出する際に用いる透明度が異なることが原因と考えられる．KL の値を変えても同様である．

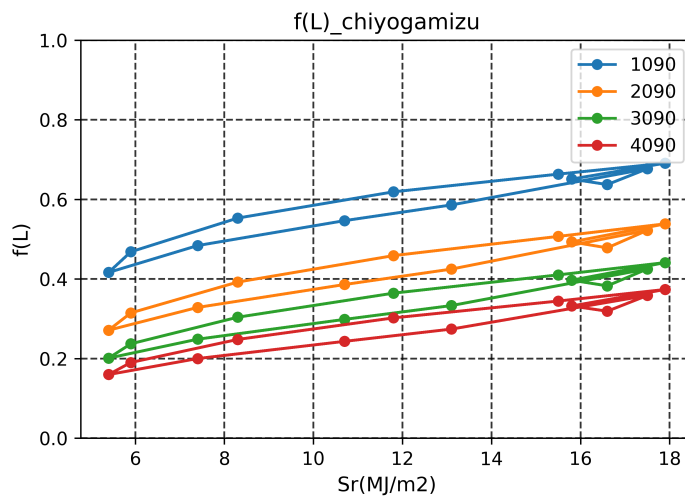
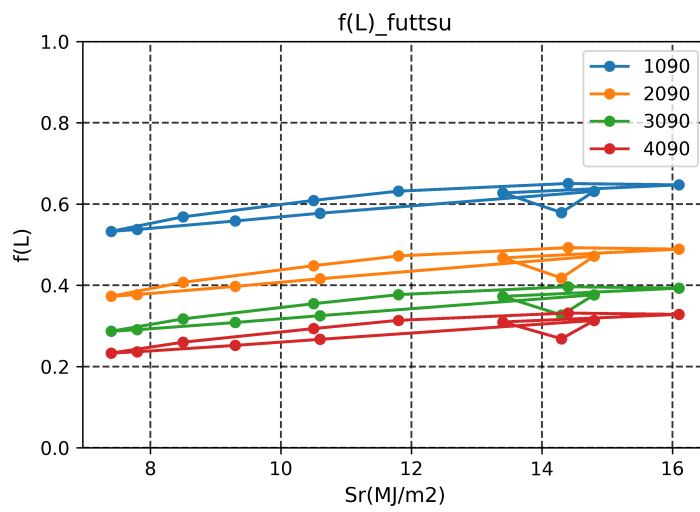
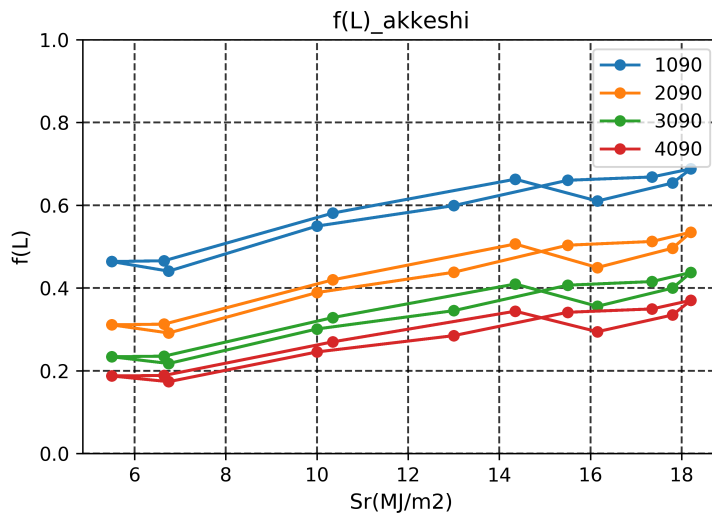


図 3-4-10 : 光に関する生長制限項と Sr の関係

3-4-2-8. 光に関するパラメータ KL の感度分析 (f(L)と Tr の関係性)

光量に関する半飽和定数 KL (光に関するパラメータ) を複数設定し、光に関する生長制限項 f(L) を計算した。光に関する生長制限項 f(L) と透明度 Tr の関係性を図 3-4-11 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道 (厚岸湖)、千葉県 (富津)、鹿児島県 (児ヶ水海岸) のグラフである。縦軸は光に関する生長制限項 f(L)、横軸が透明度 Tr(m) である。水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度はそれぞれ年別月別のデータを 10 年間与え続け、f(T) の計算結果をグラフに示した。今回、f(L) を算出する際に用いる光量に関する半飽和定数 KL (Kcal m² d⁻¹) について 既往研究 (Bocci ら, 1997) を参考に、1090, 2090, 3090, 4090 と設定し、計算した結果を図に示す。

図より、3 地点において Tr の値と f(L) の値に、比例関係はみられないことが読み取れる。KL の値が異なる場合も同様である。これについては、全天日射量の日積算量の月別平均値が異なることが原因と考えられる。KL の値を変えても同様である。

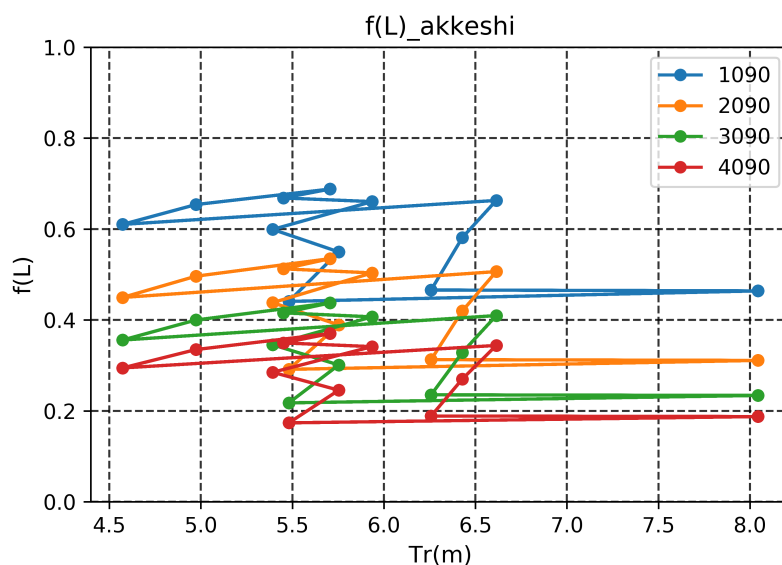


図 3-4-11 : 光に関する生長制限項と Tr の関係

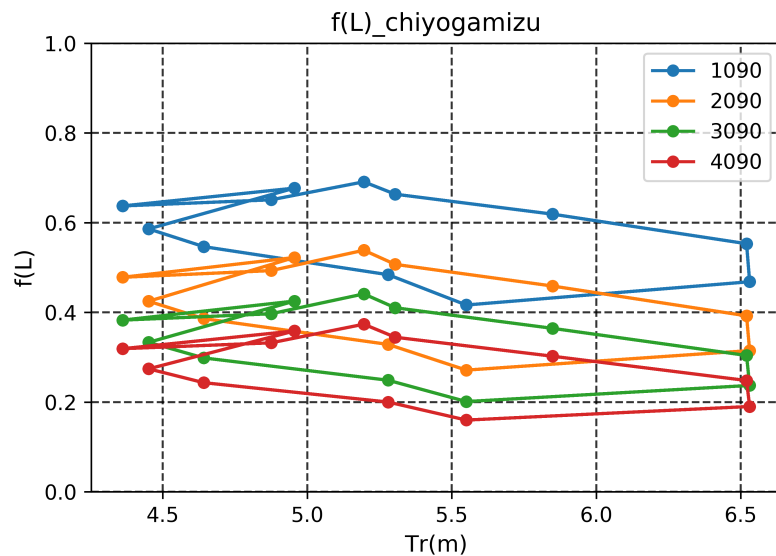
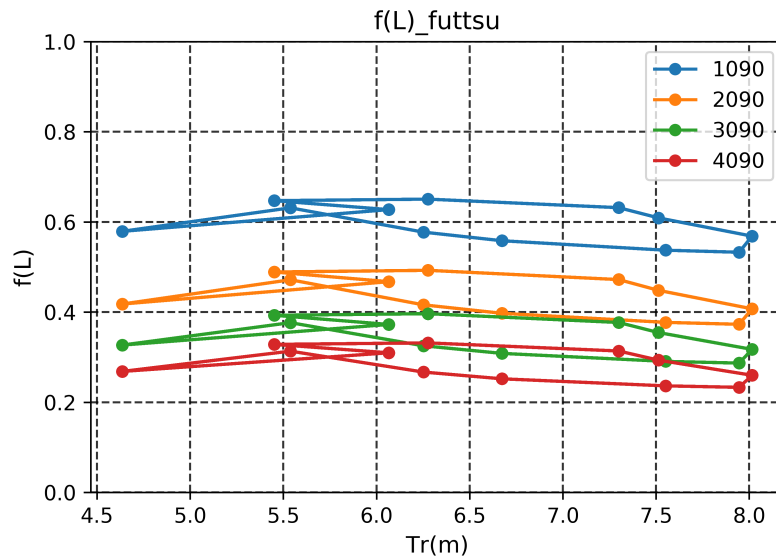


図 3-4-11：光に関する生長制限項と Tr の関係（続き）

3-4-2-9.空間に関するパラメータ SMAX の感度分析 (f(s)の時系列変化)

地上部最大現存量 SMAX（空間に関するパラメータ）を複数設定し、空間に関する生長制限項 f(s)を計算した。空間に関する生長制限項 f(s)の時系列変化を図 3-4-12 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道（厚岸湖）、千葉県（富津）、鹿児島県（児ヶ水海岸）のグラフである。縦軸は空間に関する生長制限項 f(s)、横軸が月である。水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度はそれぞれ 10 年間の各月平均値を 10 年間与え続け、10 年目の計算結果をグラフに示した。今回、f(s)を算出する際に用い

た地上部最大現存量 SMAX を，既往研究 (Bocci ら，1997，原出所：Douke ら,2000a,b, 出所：Nakaoka and Aioi,2001,p13) を参考に，300，500，700 と設定し，計算した結果を図に示す。

北海道 (厚岸湖) については，1 年を通して $f(s)$ の値が約 1 であり，空間に関する生長制限がかからなかった。地上部現存量が，1 年を通して今回設定したそれぞれの最大値 $300(\text{gDW m}^{-2})$ ， $500(\text{gDW m}^{-2})$ ， $700(\text{gDW m}^{-2})$ に近づかないことがわかる。

千葉県 (富津) については，1～6 月に $f(s)$ が約 0.2 をとり，7～11 月は $f(s)$ の値が約 1 をとる。これをみると，1～6 月に現存量が今回設定した最大値に近づき，7～11 月にかけて衰退しているため，空間に関する生長制限がかかりにくくなっていることがわかる。

鹿児島県 (児ヶ水海岸) については，3～5 月に $f(s)$ が約 0 の値をとり，7～2 月は $f(s)$ の値が約 1 をとる。これをみると，3～5 月に現存量が今回設定した最大値に近づき，7～2 月にかけて衰退しているため，空間に関する生長制限がかかりにくくなっていることがわかる。

3 地点において，若干のずれはあるものの，SMAX300，500，700 の場合の $f(s)$ の時系列変化と値がほぼ一致していることがわかる。

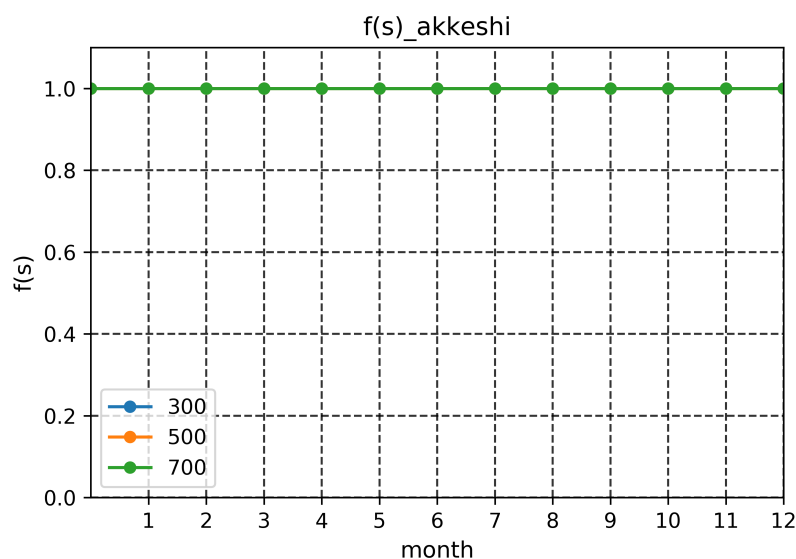


図 3-4-12：空間に関する生長制限項の時系列変化 (SMAX)

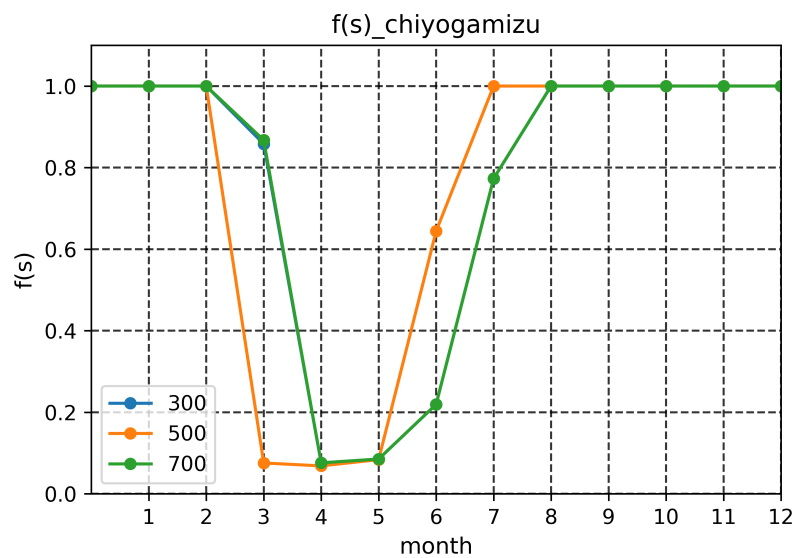
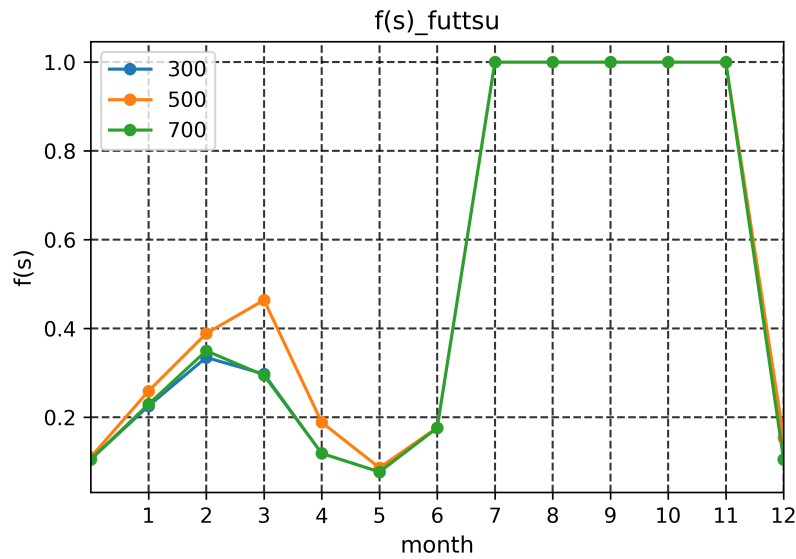


図 3-4-12：空間に関する生長制限項の時系列変化（SMAX）（続き）

3-4-2-10. 空間に関するパラメータ SL の感度分析 (f(s)の時系列変化)

空間に依存する生長係数 SL（空間に関するパラメータ）を複数設定し、空間に関する生長制限項 f(s)を計算した。空間に関する生長制限項 f(s)の時系列変化を図 3-4-13 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道（厚岸湖）、千葉県（富津）、鹿児島県（児ヶ水海岸）のグラフである。縦軸は空間に関する生長制限項 f(s)、横軸が月である。水温、全天日射量の日積算量の月別年平均値、透明度はそれぞれ 10 年間の各月平均値を 10 年間与え続け、10 年目の計算結果をグラフに示した。今回、f(s)を算出する際に用い

た、空間に依存する生長係数 SL ($gDW\ m^{-2}$) について、既往研究 (Bocci ら, 1997) を参考に、5, 10, 15 と設定し、計算した結果を図に示す。

図より、北海道 (厚岸湖) については、1 年を通して $f(s)$ の値が約 1 であり、制限がかからないことが読み取れる。地上部現存量が、1 年を通して今回設定した最大値 $500(gDW\ m^{-2})$ に近づかないことがわかる。

千葉県 (富津) については、1~6 月に $f(s)$ が約 0.1~0.4 をとり、7~11 月は $f(s)$ の値が約 1 をとる。これをみると、1~6 月に現存量が今回設定した最大値に近づくため制限がかかり、7~11 月にかけて現存量が衰退しているため制限がかかりにくくなっていることが考えられる。

鹿児島県 (児ヶ水海岸) については、3~5 月に $f(s)$ が減少して約 0 に近づき、7~2 月は $f(s)$ の値が約 1 をとる。これをみると、3~5 月に現存量が今回設定した最大値に近づくため制限がかかり、7~2 月にかけて現存量が衰退しているため制限がかかりにくくなっていることが考えられる。

3 地点において、若干のずれはあるものの、 $SL5, 10, 15$ の場合の $f(s)$ の時系列変化と値がほぼ一致していることがわかる。

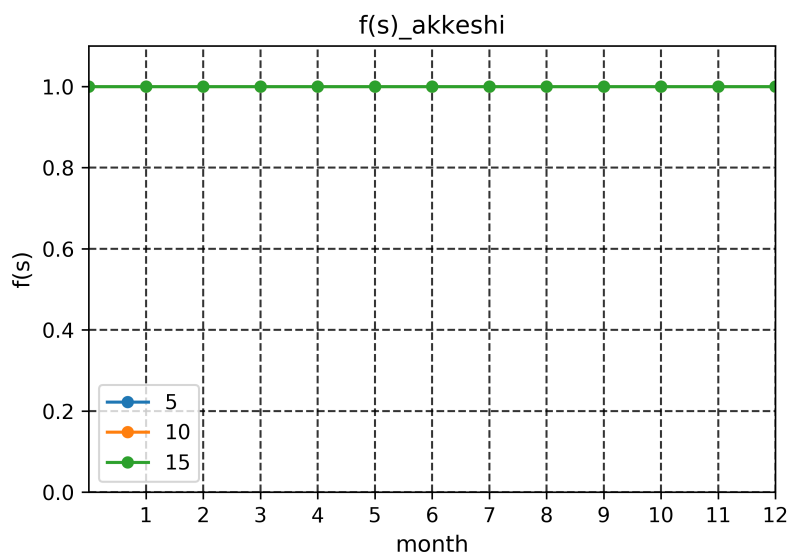


図 3-4-13 : 空間に関する生長制限項の時系列変化 (SL)

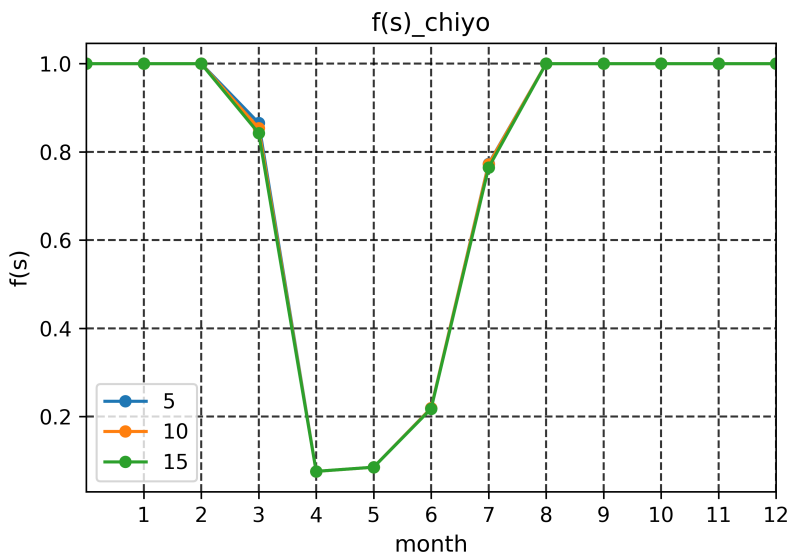
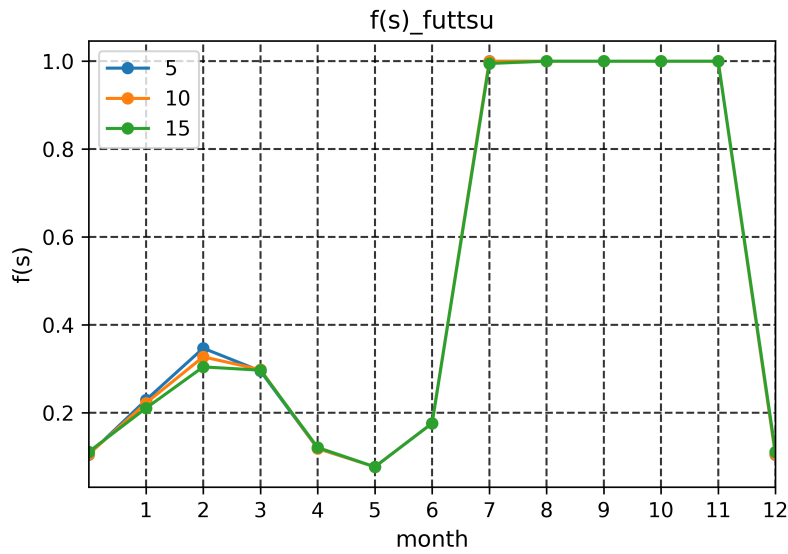


図 3-4-13：空間に関する生長制限項の時系列変化 (SL) (続き)

3-4-2-11. 空間に関するパラメータ SMAX の感度分析 (f(s)と S の関係性)

地上部最大現存量 SMAX (空間に関するパラメータ) を複数設定し、空間に関する生長制限項 $f(s)$ を計算した。空間に関する生長制限項 $f(s)$ と藻場地上部現存量 S の関係性を図 3-4-14 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道 (厚岸湖), 千葉県 (富津), 鹿児島県 (児ヶ水海岸) のグラフである。縦軸は空間に関する生長制限項 $f(s)$, 横軸が地上部現存量 $S(\text{gDW m}^{-2})$ である。水温, 全天日射量の日積算量の月別平年値, 透明度はそれぞれ

れ年別月別のデータを10年間与え続け、 $f(s)$ の計算結果をグラフに示した。今回、 $f(s)$ を算出する際に用いる地上部最大現存量 S_{MAX} は、既往研究 (Bocci ら, 1997, 原出所: Douke ら, 2000a,b, 出所: Nakaoka and Aioi, 2001, p13) を参考に、300, 500, 700 と設定し、計算した結果を図に示す。

図より、北海道 (厚岸湖) については、 S の値の範囲内で $f(s)$ の値が全て約 1 であり、制限がかからない。今回設定した地上部現存量がそれぞれの最大値 $300(\text{gDW m}^{-2})$, $500(\text{gDW m}^{-2})$, $700(\text{gDW m}^{-2})$ に近づかないことがわかる。また、3地点の中で唯一凡例すべての値が一致している。

千葉県 (富津) については、それぞれの凡例の最大値である $300(\text{gDW m}^{-2})$, $500(\text{gDW m}^{-2})$, $700(\text{gDW m}^{-2})$ に近い値まで制限がかからないことが読み取れる。

鹿児島県 (児ヶ水海岸) については、それぞれの凡例の最大値である $300(\text{gDW m}^{-2})$, $500(\text{gDW m}^{-2})$, $700(\text{gDW m}^{-2})$ に近い値まで制限がかからないことが読み取れる。

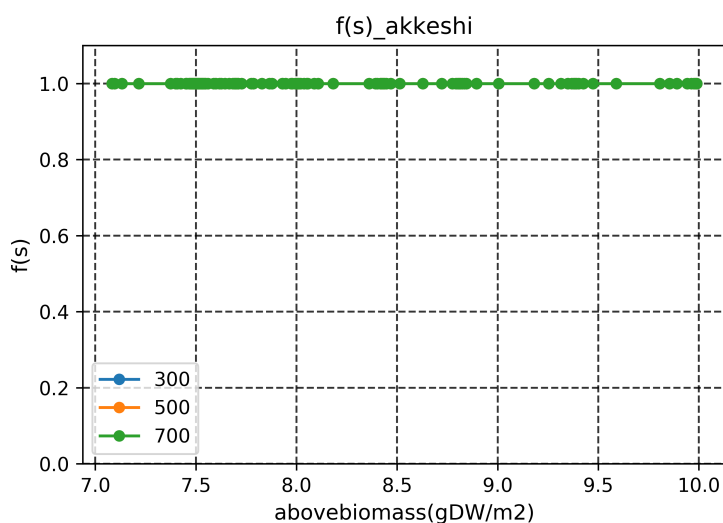


図 3-4-14 : 空間に関する生長制限項と S の関係 (S_{MAX})

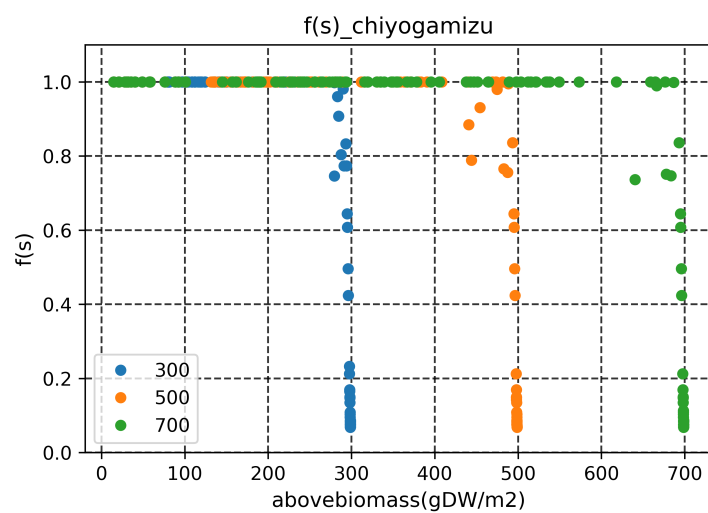
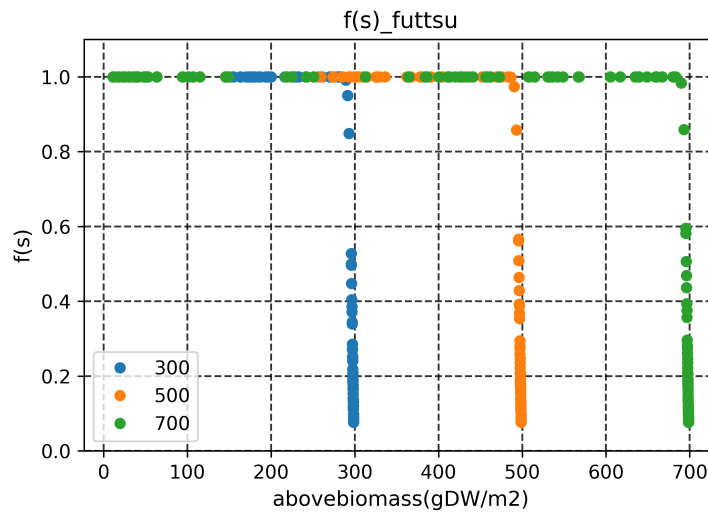


図 3-4-14：空間に関する生長制限項と S の関係 (SMAX) (続き)

3-4-2-12. 空間に関するパラメータ SL の感度分析 (f(s)と S の関係性)

空間に依存する生長係数 SL (空間に関するパラメータ) を複数設定し、空間に関する生長制限項 f(s)を計算した。空間に関する生長制限項 f(s)と藻場地上部現存量 S の関係性を図 3-4-15 に示す。

グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道 (厚岸湖)、千葉県 (富津)、鹿児島県 (児ヶ水海岸) のグラフである。縦軸は空間に関する生長制限項 f(s)、横軸が地上部現存量 S(gDW m²)である。水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度はそれぞれ年別月別のデータを 10 年間与え続け、f(s)の計算結果をグラフに示した。今回、f(s)を算出する際に用いる空間に依存する生長係数 SL (gDW m²)について既往研究(Bocci ら, 1997)

を参考に、5、10、15 と設定し、計算した結果を図に示す。

図より、北海道（厚岸湖）については、S の値が f(s) の値がすべて約 1 をとる範囲にあることがわかる。よって、S が今回設定した最大値 500(gDW m⁻²) に近づかないことがわかる。凡例すべての値が一致している。

千葉県（富津）については、今回設定した最大値 500(gDW m⁻²) に近い S 以外は、f(s) の値が基本的に約 1 をとる範囲内にあり、制限がかかりにくい。空間に関する生長制限のかからない S の値の範囲が大きいことがわかる。

鹿児島県（児ヶ水海岸）は、S が今回設定した最大値 500(gDW m⁻²) に近い値で f(s) の値にややばらつきがみられる。SL が大きくなるほど、微量ではあるが制限がかかりにくい傾向がみられる。空間に関する生長制限のかからない S の値の範囲は大きいことがわかる。

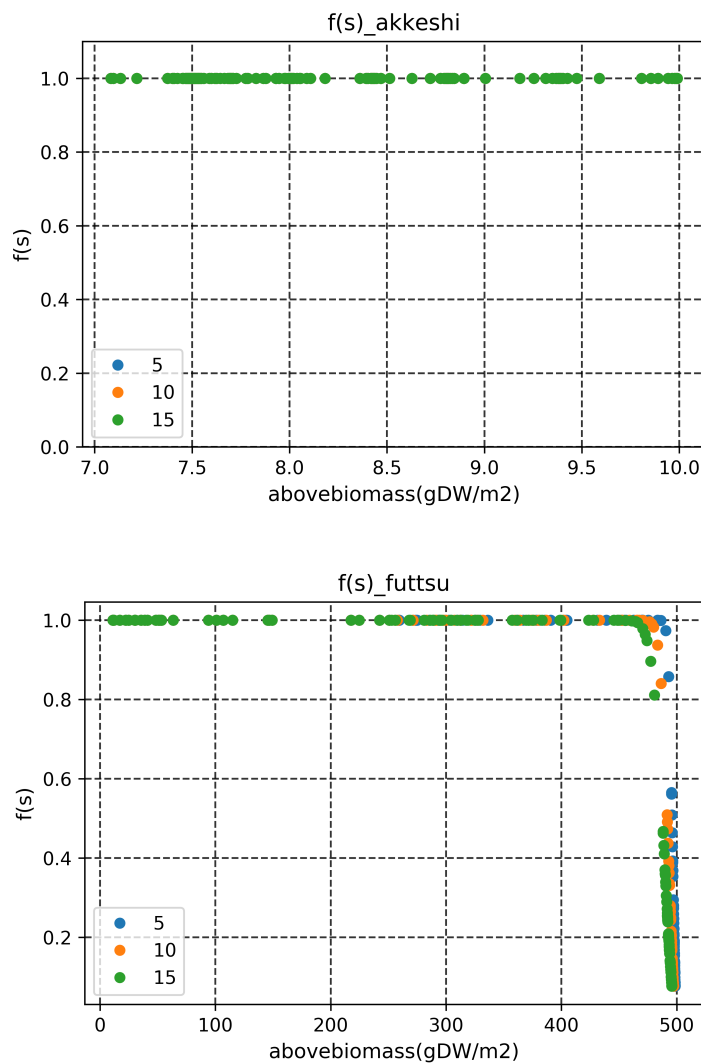


図 3-4-15：空間に関する生長制限項と S の関係 (SL)

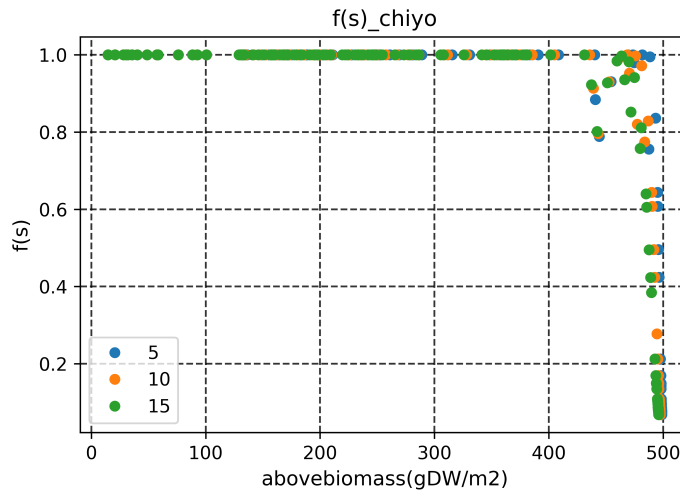


図 3-4-15：空間に関する生長制限項と S の関係 (SL) (続き)

3-4-2-13. 3 地点における藻場現存量計算結果のパラメータ感度の比較

今回は、パラメータを変えて計算した場合のばらつきを分析する。パラメータ 3 つの値をそれぞれ変えて、北海道 (厚岸湖)、千葉県 (富津)、鹿児島県 (児ヶ水海岸) の地上部現存量を計算した。水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度はそれぞれ 10 年間の各月平均値を 10 年間与え続け、10 年目の計算結果をグラフに示した。次に、すべての地点における現存量が定常化した 10 年目の計算結果について、月ごとに、パラメータ 3 つの値をそれぞれ変えた計算結果から各基準値の計算結果を差し引いた。その平均値と標準偏差を算出し、図 3-4-16 に示す。

まず、グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道 (厚岸湖)、千葉県 (富津)、鹿児島県 (児ヶ水海岸) のグラフである。縦軸は藻場地上部現存量(gDW m^{-2})、横軸は各生長制限項を算出する際に用いるパラメータである。TOPT については既往研究 (Bocci ら, 1997, 金澤ら, 2006) を参考に、10, 15, 20 の 3 パターンの値で計算した結果、ST については既往研究 (Bocci ら, 1997, 金澤ら, 2006) を参考に、3.6, 4.8, 6 の 3 パターンの値で計算した結果、SMAX については既往研究 (Bocci ら, 1997, 原出所: Douke ら, 2000a,b, 出所: Nakaoka and Aioi, 2001, p13) を参考に、300, 500, 700 の 3 パターンの値で計算した結果、SL については既往研究 (Bocci ら, 1997) を参考に、5, 10, 15 の 3 パターンの値で計算した結果、KL については既往研究 (Bocci ら, 1997) を参考に、1090, 2090, 3090, 4090 の 4 パターンの値で計算した結果を用いている。それぞれの基準値は既往研究 (Bocci ら, 1997) を参考に、TOPT は 20, ST は 3.6, SMAX は 500, SL は 5, KL は 2090 とした。

まず、北海道 (厚岸湖) については TOPT 以外のパラメータを変化させた計算結果のば

らつきは比較的小さくみられる。また、TOPT 以外のパラメータでは現存量平均値が約 10(gDW m⁻²)程度であり、TOPT については約 400 (gDW m⁻²)と、平均値が大きく異なっていることがわかる。これについて、水温の生長制限が大きくかかっていることが、他のパラメータを変化させても結果に差異がみられないことの要因である可能性が考えられる。好適水温 TOPT について今後は重点的に精査する必要があると考えられる。

次に、千葉県（富津）については、SMAX, TOPT のばらつきが大きく、それ以外のパラメータのばらつきは比較的小さいことが読み取れる。現存量の平均値についても、TOPT 以外の現存量平均値が TOPT と比較すると大きく、TOPT 以外のパラメータのそれは平均値が同程度である。TOPT20 の計算結果では、実測調査と比較しても 1 年を通して現存量が最大値を維持していたことから、分布域の水温が TOPT20 の範囲になる期間が長いことが考えられる。それにより TOPT20 に設定し SMAX を増やすと現存量がさらに多い量を維持することが考えられる。他のパラメータは TOPT20 の場合で計算しており、ばらつきがあまりみられないことから、水温の生長制限項の影響が大きく、他のパラメータの値を変化させても結果に差異がみられなかったのではないかと考えられる。好適水温 TOPT について今後は重点的に精査する必要があると考えられる。

最後に、鹿児島県（児ヶ水海岸）について、TOPT と SMAX の計算結果のばらつきが他のパラメータと比較すると大きいことが読み取れる。現存量の平均値についても、TOPT 以外の現存量平均値が TOPT と比較すると大きく、TOPT 以外のパラメータのそれは平均値が同程度である。TOPT の現存量の平均値が他の 2 地点と比較すると唯一負の値となっている。今回のグラフはパラメータ 3 つの値をそれぞれ変えた計算結果から各基準値の計算結果を差し引いた値であるため、他の 2 地点と比較すると基準値が適していることが考えられる。

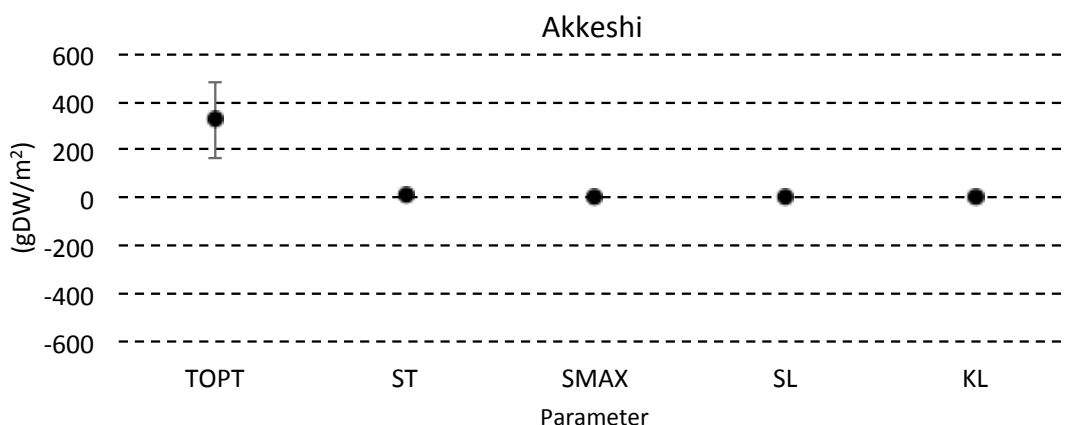


図 3-4-16：パラメータ感度分析（各藻場地上部の年間平均現存量の頻度分布）

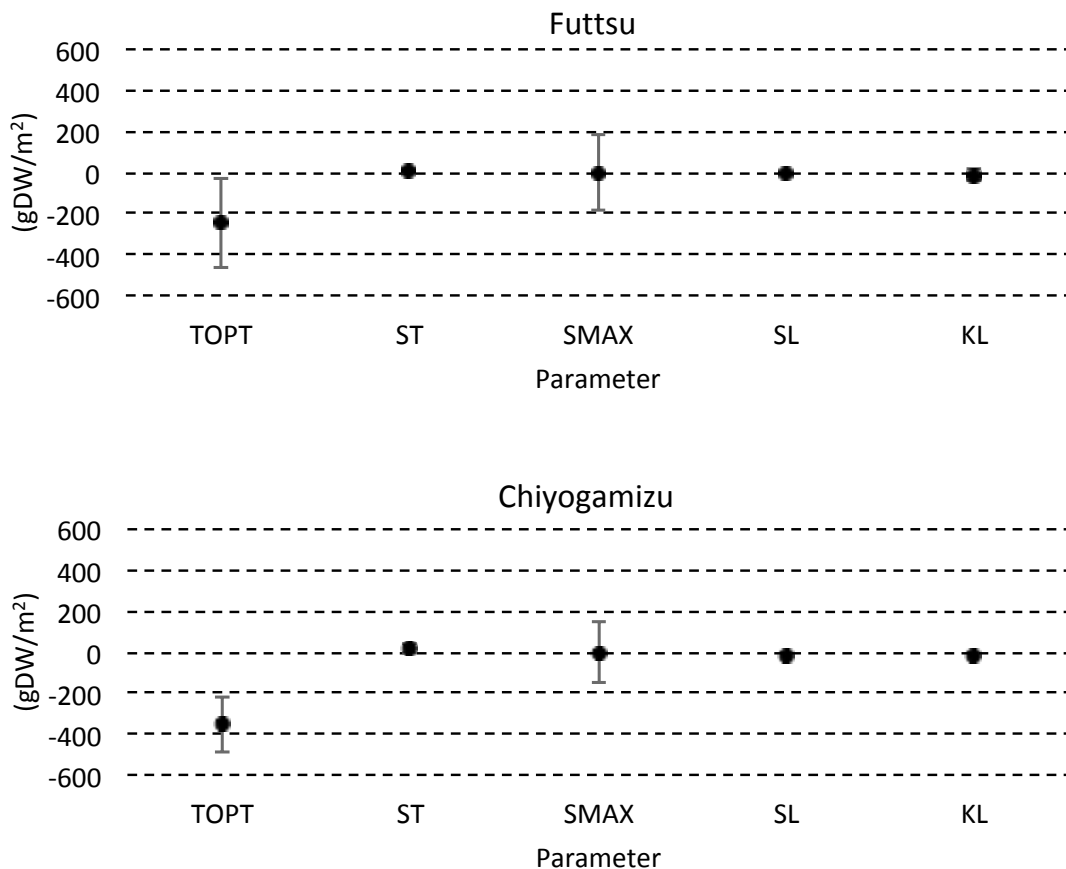


図 3-4-16：パラメータ感度分析（各藻場地上部の年間平均現存量の頻度分布）（続き）

3-4-3.まとめと考察

以上の分析より、各データ、生長制限項の値について比較すると、水温に関する生長制限項とデータの値は地点ごとの差が特に大きくみられることがわかった。また、水温に関する生長制限項が結果に及ぼす影響が他と比べて比較的大きいことがわかった。特に、これを算出する際に用いるパラメータ TOPT を変化させることで、地点ごとに水温に関する生長制限項の時系列変化に影響がみられることがわかった。ST については TOPT と比較するとばらつきが小さく、水温に関する生長制限項の時系列変化に及ぼす影響も比較的小さくみられた。これについては既往の値を与えることで問題はない可能性が高いと考えられる。以上より、まず、パラメータ TOPT について、実測調査の結果を参考にしながら地点ごとに最適化させるなど、今後、重点的に精査する必要があると考えられる。

次に、光に関する生長制限項は、水温と比較すると地点ごとの時系列変化の差が比較的小さいことがわかった。光に関するデータである全天日射量の日積算量の月別平均値や透明度をみても、水温のデータと比較すると地点ごとのばらつきが小さい結果となっていた。

結果として、水温に関する生長制限項と比較すると結果に与える影響は比較的小さいと考えられる。これについては既往の値を与えることで問題はない可能性が高いと考えられる。

空間に関する生長制限項について、SMAX については、他のパラメータと比較するとばらつきが比較的大きくみられた。これについて、今回は水温に関する生長制限項の影響が大きいことが原因と考えられる。まず、水温・光の生長制限項を地点ごとに最適化させることが優先であると考えられる。ポテンシャルの推定という意味では、地点ごとの現存量実測調査を定期的・長期的に実施し、アマモの最大現存量を正確に把握し、設定する必要があると考えられる。SL については、SMAX と比較するとばらつきが小さく、空間に関する生長制限項の時系列変化に及ぼす影響も比較的小さくみられた。これについては既往の値を与えることで問題はない可能性が高いと考えられる。

3-4-4.TOPT 設定方法の検討

以上の分析より、パラメータ TOPT が計算結果に与える影響が大きいことがわかった。日本全域を推算するためにはパラメータ TOPT を一律の考え方で設定し計算する必要があると考え、以下、これの設定方法を検討する。

まず、地点ごとの 10 年間の各月平均水温の算出結果を図 3-4-17 に示す。これを各地点の水温の標準的な季節変動と仮定する。グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道（厚岸湖）、千葉県（富津）、鹿児島県（児ヶ水海岸）のグラフである。縦軸は水温(°C)、横軸は月である。

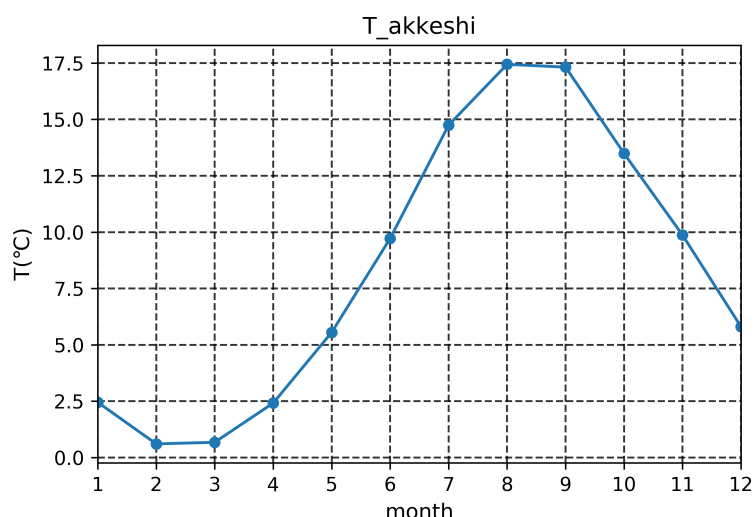


図 3-4-17：3 地点の水温の標準的な季節変動

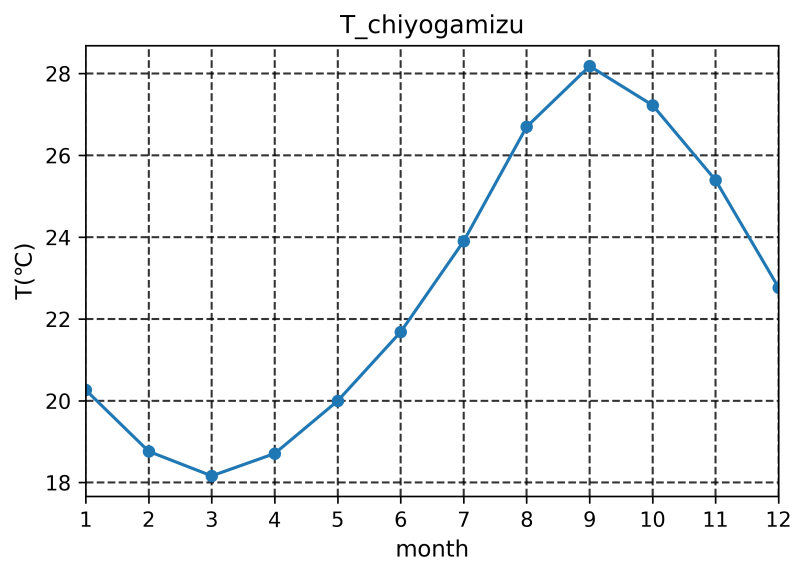
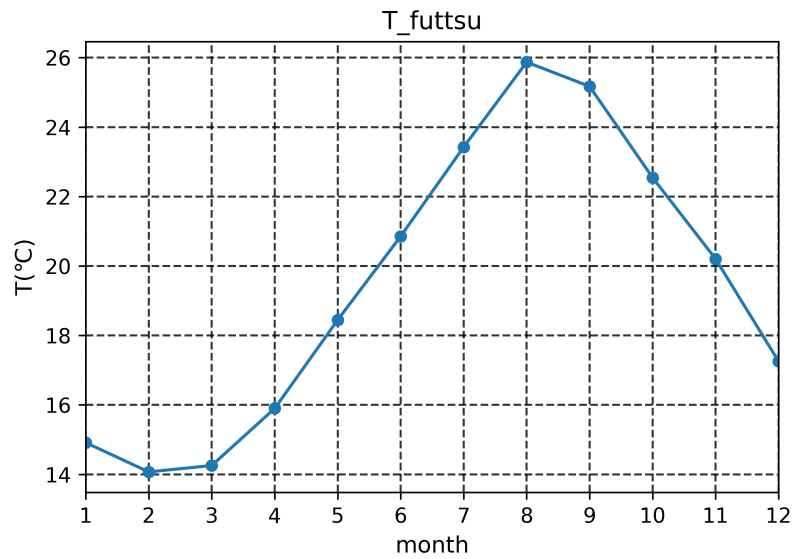


図 3-4-17：3 地点の水温の標準的な季節変動（続き）

次に、それぞれのグラフから最大値と最小値の幅を算出する。アマモの生育条件として、8月平均水温が28°Cまでとされている（水産庁マリノフォーラム 21, 2007）。図 3-4-17 より、今回選んだ3地点の水温のとの幅の90%までが28°Cに収まることが読み取れる。よって、最小値～最大値までの範囲内の最小値～90%までを10%刻みでTOPTに設定し、地上部現存量を算出する。設定したTOPTの具体的な値は表 3-4-1 に示す通りである。

表 3-4-1：3 地点の TOPT 設定温度

	akkeshi	futtsu	chiyogamizu
	(°C)	(°C)	(°C)
(max-min)*0.1+min	2.29124137	15.251106	19.12075337
(max-min)*0.2+min	3.974607542	16.431092	20.14063464
(max-min)*0.3+min	5.657973715	17.611077	21.16051591
(max-min)*0.4+min	7.341339887	18.791062	22.18039718
(max-min)*0.5+min	9.024706059	19.971047	23.20027845
(max-min)*0.6+min	10.70807223	21.151033	24.22015972
(max-min)*0.7+min	12.3914384	22.331018	25.24004099
(max-min)*0.8+min	14.07480458	23.511003	26.25992226
(max-min)*0.9+min	15.75817075	24.690988	27.27980353
min	0.607875198	14.071121	18.1008721

3 地点の地上部現存量計算結果を図 3-4-18 に示す。グラフ詳細について説明する。グラフは上から順に、北海道（厚岸湖）、千葉県（富津）、鹿児島県（児ヶ水海岸）のグラフである。縦軸は現存量 (gDW m²)、横軸は月である。凡例について、紫がそれぞれの最小値、紺が範囲内の 10%地点の水温を TOPT に設定した時、と、それぞれ計算した結果を示す。データについては水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度についてそれぞれ 10 年間の各月平均値を算出し、10 年間与え続け、10 年目の計算結果をグラフに示した。

図より、最小値(min)を TOPT に設定すると年変化が比較的大きくみられる。しかし、現時点では実測調査の結果が不足しているため、これらが各地点の標準的な季節変動であるかは不明である。精度向上のためには長期的かつ定期的な実測調査を実施することでデータを蓄積し、各地の標準的な季節変動を把握・検討することが必要であると考えられる。

また、北に位置するほど年変化が小さいことが読み取れる。これについては、今回用いた数値モデルの基礎式が、水温が低いと呼吸・枯死速度が小さくなる構造となっているため、北に位置するアマモ場ほど減少量が小さくなることが原因と考えられる。緯度に依存する水温制限など、計算結果の精度を高めるための検討の余地はまだあると考えられる。

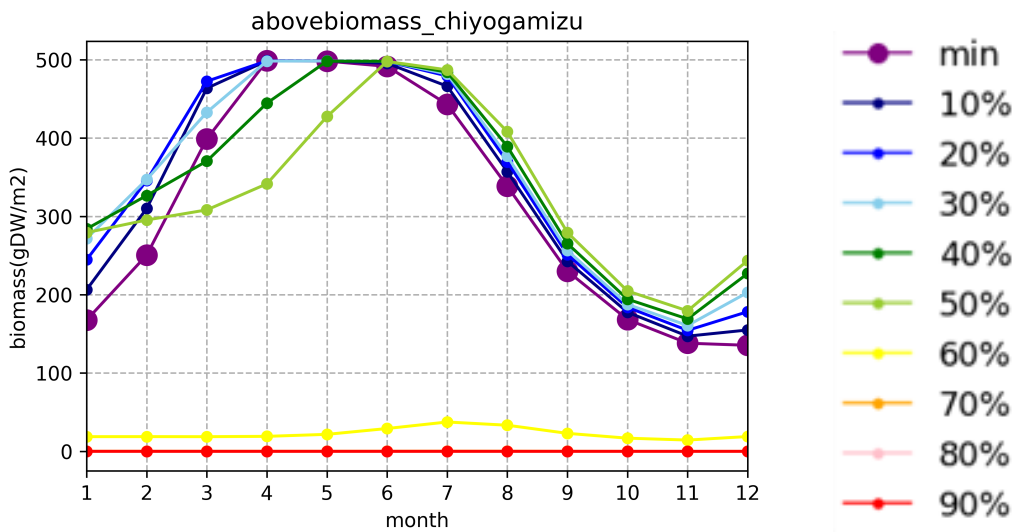
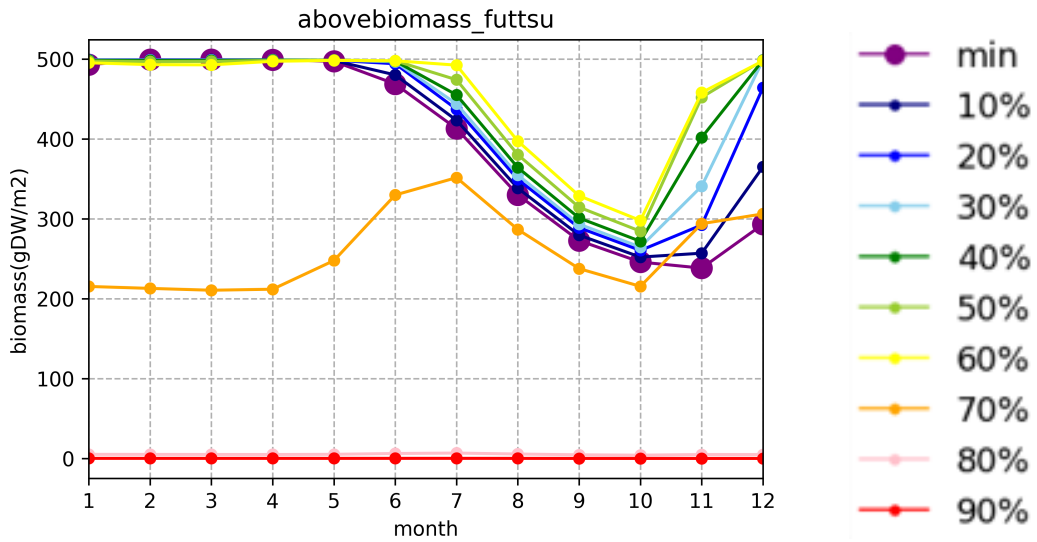
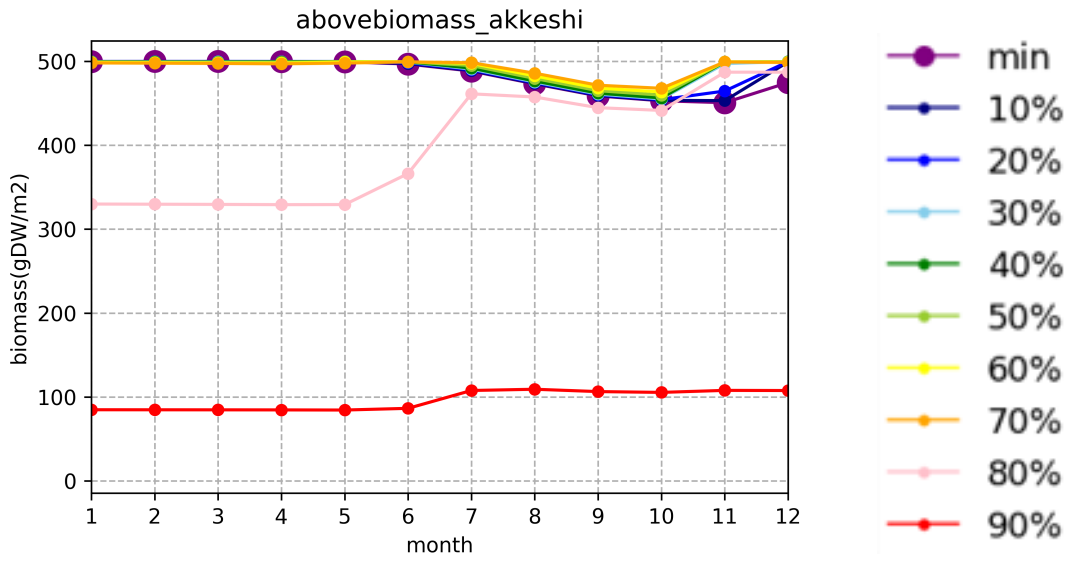


図 3-4-18：3 地点の地上部現存量計算結果

3-5. 藻場現存量計算結果の時系列変化

以上、2 節(3-2)、3 節(3-3)で既往研究と本計算結果を比較・検証した。また、4 節(3-4)では推定方法の改善点を感度分析から模索した。

既往研究の実測値と差がある結果が出たが、それは 3 地点といった個別具体的な結果である。よって、次は、今回計算した藻場全体の時系列変化や緯度別の分析を行うことで、日本沿岸域全体での大枠を把握する。まず、本節(3-5)では、計算結果を元に、藻場全体の時系列変化の分析を行う。そして、次節(3-6)で緯度別の分析を行う。

データについて、水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度それぞれの年別月別のデータを 10 年間与え続け、計算した。

3-5-1.分析

藻場現存量の計算結果について、時系列変化にどのような傾向がみられるかを分析する。推算した 10 年間それぞれの年について、すべての藻場を対象とした年間平均現存量、月平均現存量を図 3-5-1 に示す。なお、日ごとの連続推定に用いるデータは、各年各月の 1 日当たりの平均値を算出し、計算に使用している。

グラフ詳細を説明する。図左は藻場地上部の年間平均現存量、図右は藻場地上部の月平均現存量である。それぞれ縦軸が現存量 (gDW m^{-2})、横軸が月である。

まず、年間平均現存量をみると、年を経過するごとに現存量が増加する傾向がみられる。10 年目に約 300 (gDW m^{-2}) になる。また、他の年と比較すると、9、10 年目の差が小さくなっている。次に、月別変化の結果をみると、年が経過するとともにそれぞれ繁茂期・衰退期の現存量が徐々に増えていることが読み取れる。繁茂期現存量は約 350 (gDW m^{-2})、衰退期現存量は約 150 (gDW m^{-2}) である。

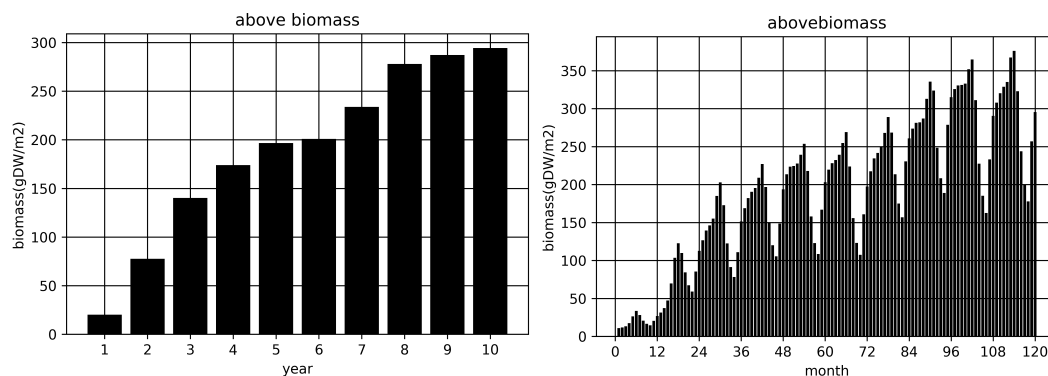


図 3-5-1：藻場地上部現存量の時系列変化

各藻場地上部の現存量について、どの程度ばらつきがみられるのか、また、ばらつきの変化を分析するべく、各藻場地上部の年別年間平均現存量の標準偏差を図3-5-2に示す。

図より、1年目のばらつきは他の年と比較すると小さいが、年を経るごとにばらつきが大きくなる様子が読み取れ、5、6年付近で標準偏差が最大値をとっている。他の年と比較すると9、10年ではばらつきがやや小さくなることが読み取れる。

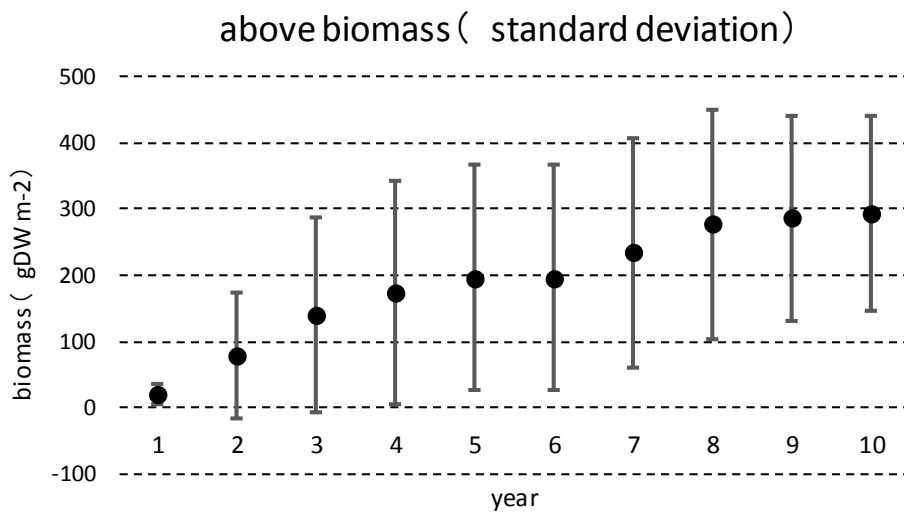


図 3-5-2：藻場地上部の年別年間平均現存量の標準偏差

藻場地上部現存量の年別頻度分布を図3-5-3に示す。ここでは、各藻場の現存量の時系列変化を分析していく。

グラフ詳細について説明する。それぞれ縦軸が頻度（個）、横軸が現存量（gDW m²）である。左上から1つ目のグラフが1年目、右上から1つ目のグラフが2年目、左上から2つ目のグラフが3年目という順番で10年間分示した。

図3-5-3より、藻場地上部現存量において、1～7年目は約0～50（gDW m²）の頻度が最も高いことが読み取れる。しかし、約0～50（gDW m²）に集中するのは1～3年目までであり、4年目からばらつきがみられる。5～6年目では約0～100（gDW m²）、約350～400（gDW m²）の頻度が高くなり始める。9、10年目では約0～50（gDW m²）、約350～500（gDW m²）の頻度が高く、この2年は他の年と比べると頻度分布の変化が小さい。

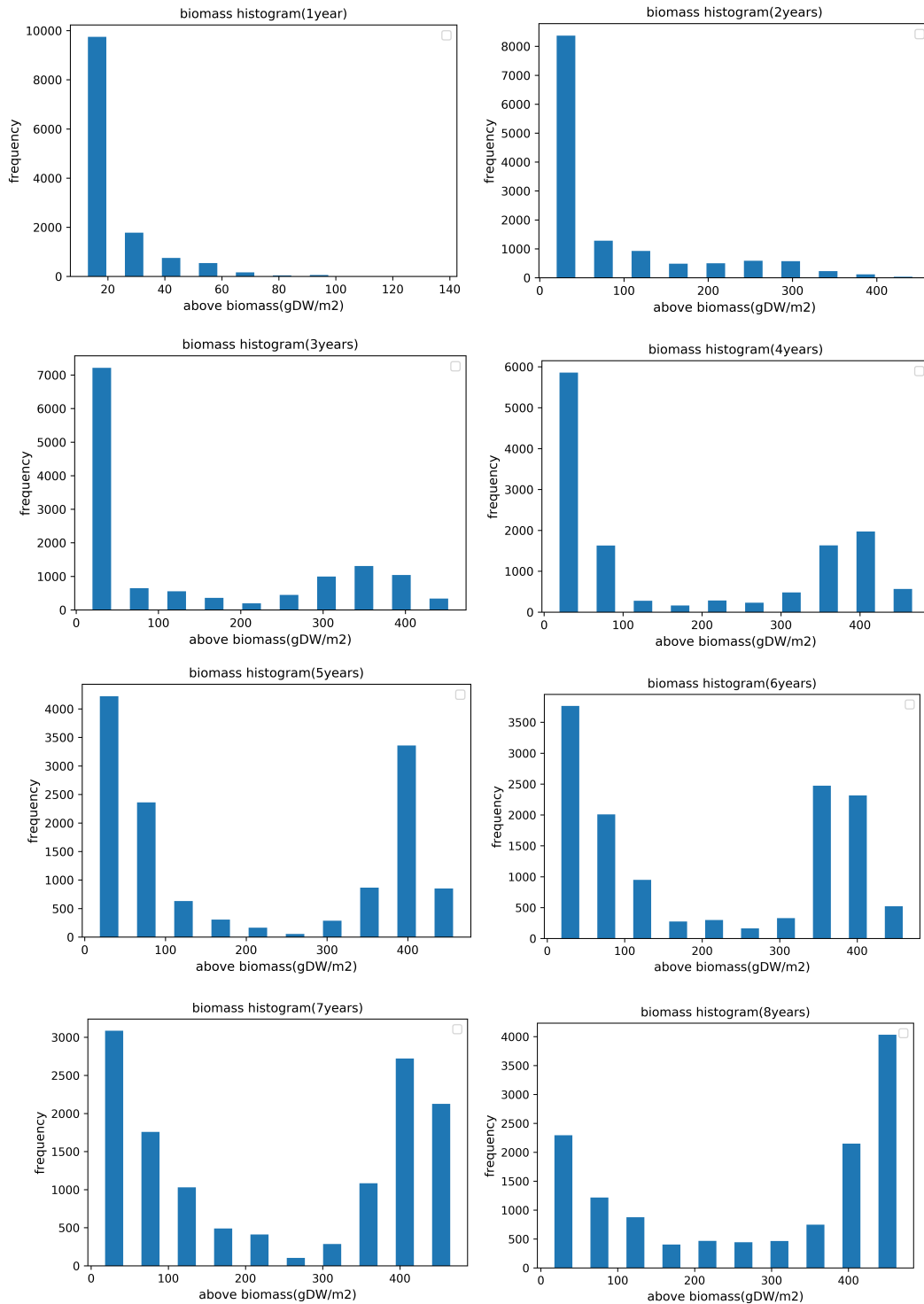


図 3-5-3：藻場地上部現存量の年別平均値頻度分布

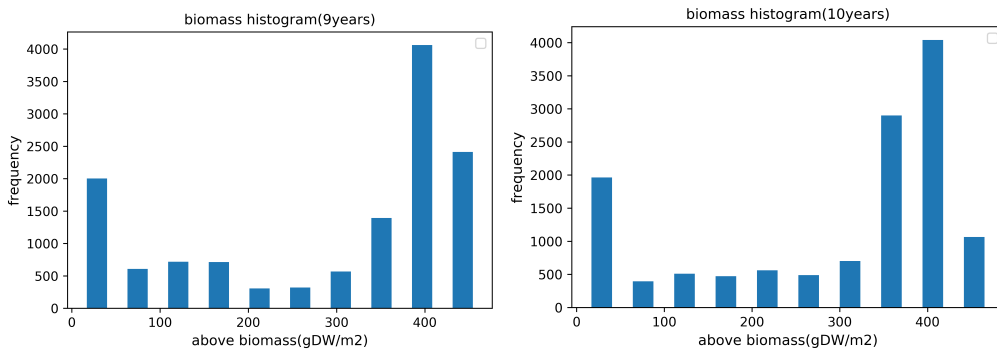


図 3-5-3：藻場地上部現存量の年別平均値頻度分布（続き）

3-5-2. 考察

まず、藻場の現存量の時系列変化をみると、年を経るごとに増加する傾向があり、他の年と比較して 9, 10 年目で現存量の差がやや小さくなることがわかった。また、藻場地上部の年別年間平均現存量の標準偏差と藻場地上部現存量の年別頻度分布のばらつきも他の年と比較して 9, 10 年目の差がやや小さい。これについて、2 節(3-2)、3 節(3-3)で既述した通り、計算結果の減少量が小さいこと、または、初期値が適切でないことが原因で、計算期間の後半の年の現存量が大きい値になることが考えられる。今後の精査が必要である。

3-6. 藻場現存量計算結果緯度別の傾向

以上、藻場地上部現存量計算結果の時系列変化について分析を行った。本節(3-6)では、藻場地上部現存量計算結果について緯度別の分析を行う。データについて、水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度それぞれの年別月別のデータを 10 年間与え続け、計算した。

3-6-1. 分析

各藻場の現存量の計算結果は、境界条件の影響を受けていると考えられる。今回は境界条件として水温、光のデータを与えている。日本はその形状より、緯度が高い地点の方が水温が低く、また、緯度が低い地点の方が日射量が多い傾向がある。そのため、藻場地上部の年別年間平均現存量の緯度別頻度分布を図 3-6-1 に、水温、光、空間の生長制限項の緯度別年別平均値を図 3-6-2 に示し、分析する。

図 3-6-1 のグラフ詳細について説明する。縦軸が藻場現存量 (gDW m²)、横軸が緯度である。左上から 1 つ目のグラフが 1 年目、右上から 1 つ目のグラフが 2 年目、左上から 2

つ目のグラフが3年目という順番で10年間分示した。

1年目は、全体的に値が小さいが、24～32度の現存量が最も多い。2年目は24～32度の現存量が多い。以降、誤差はあるものの、他の地点と比較して24～36度付近の現存量が多い。また、年が経過するごとに緯度が高い地点の現存量の増加が確認できるが、中でも特に緯度が高い42～45度付近の現存量は10年間を通して小さく、100 (gDW m⁻²) 以下を維持し続ける傾向がみられる。さらに、年が経過するごとに30～36度に分布する藻場は約400 (gDW m⁻²) になる傾向がみられる。

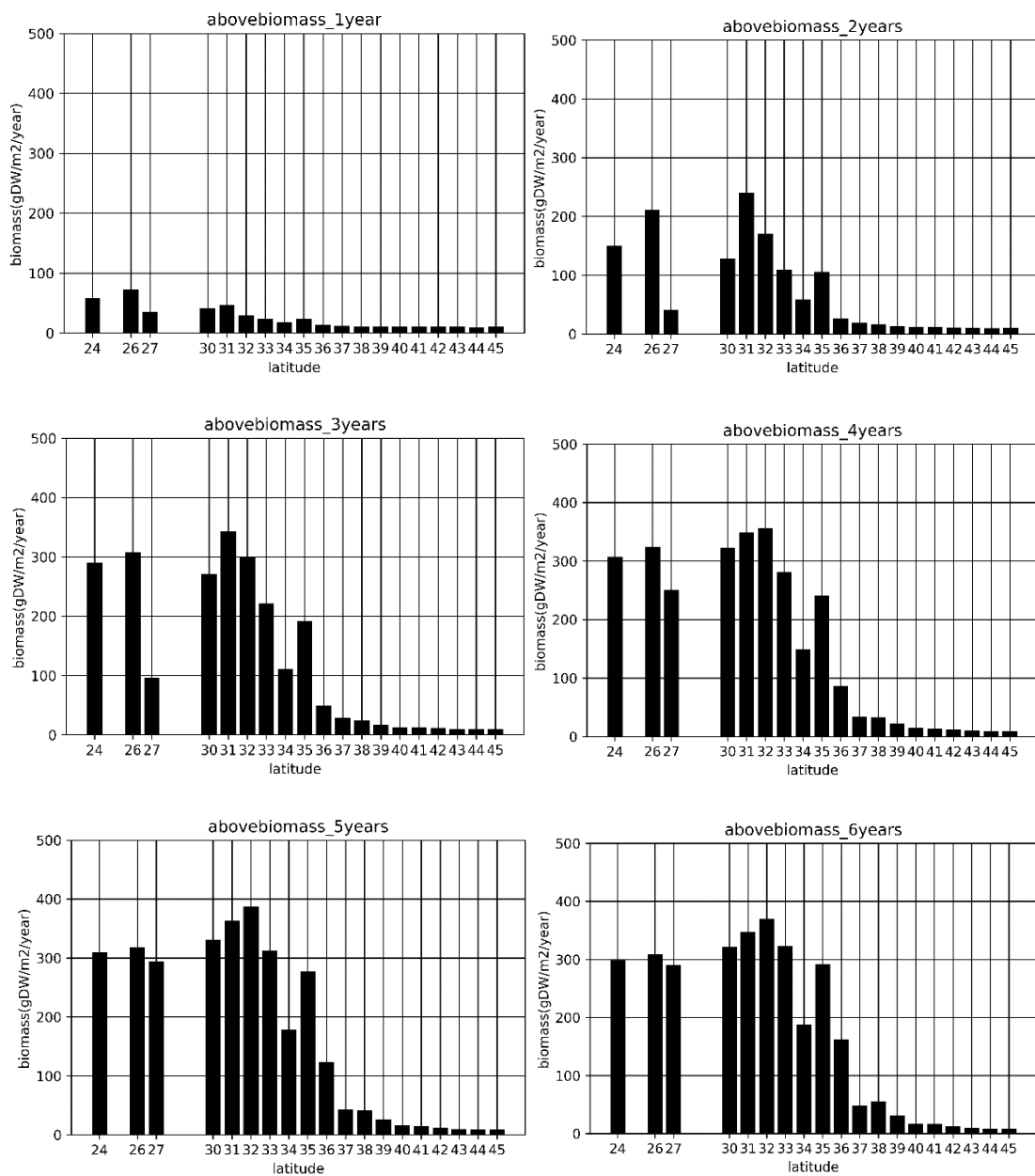


図 3-6-1：藻場地上部の年別年間平均現存量の緯度別頻度分布

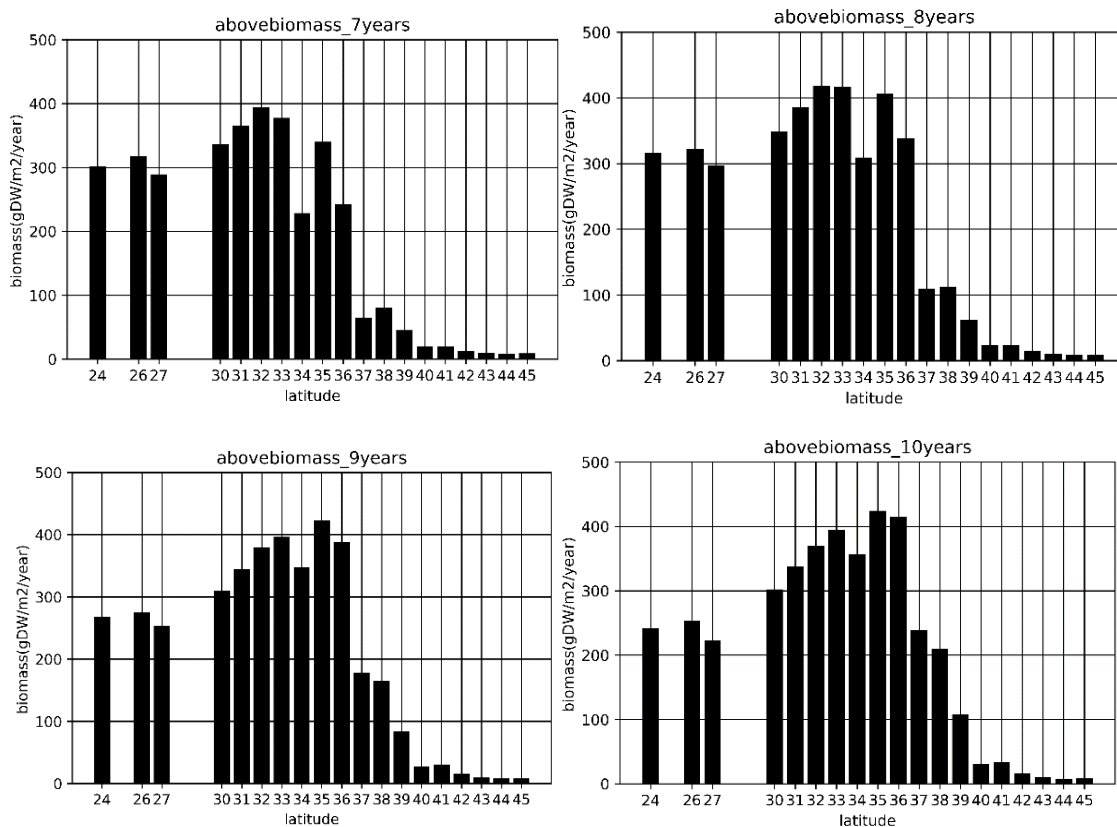


図 3-6-1：藻場地上部の年別年間平均現存量の緯度別頻度分布（続き）

次に、図 3-6-2 のグラフ詳細について説明する。左の列が光に関する生長制限項の緯度別年別年平均値、中央の列が水温に関する生長制限項の緯度別年別年平均値、右の列が空間に関する生長制限項の緯度別年別年平均値である。それぞれ縦軸は各生長制限項の値、横軸が緯度である。上から 1 つ目のグラフが 1 年目、上から 2 つ目のグラフが 2 年目、上から 3 つ目のグラフが 3 年目という順番で 10 年間分示した。

光に関する生長制限項について、最大と最小の差は約 0.2 である。緯度が低い 24~26 度は他の地点と比較すると制限がかかりにくい傾向がみられる。また、緯度が高い地点の方が光に関する生長制限項の値が比較的小さい。

水温に関する生長制限項について、最大値と最小値の差は約 0.3 である。年によって誤差はあるものの、基本的に 29~32 度付近は他の地点と比較すると制限がかかりにくい傾向がみられる。一方、緯度の高い 42~45 度付近は他の地点と比較すると制限がかかりやすい傾向がみられる。

空間に関する生長制限項について最大値と最小値の差は約 0.2~0.3 である。初年度はどの地点も制限がかからないが、年が経過すると緯度の低い地点に空間に関する生長制限がかかるようになる。しかし、水温、光の生長制限項と比較すると制限のかかり方は小さい。

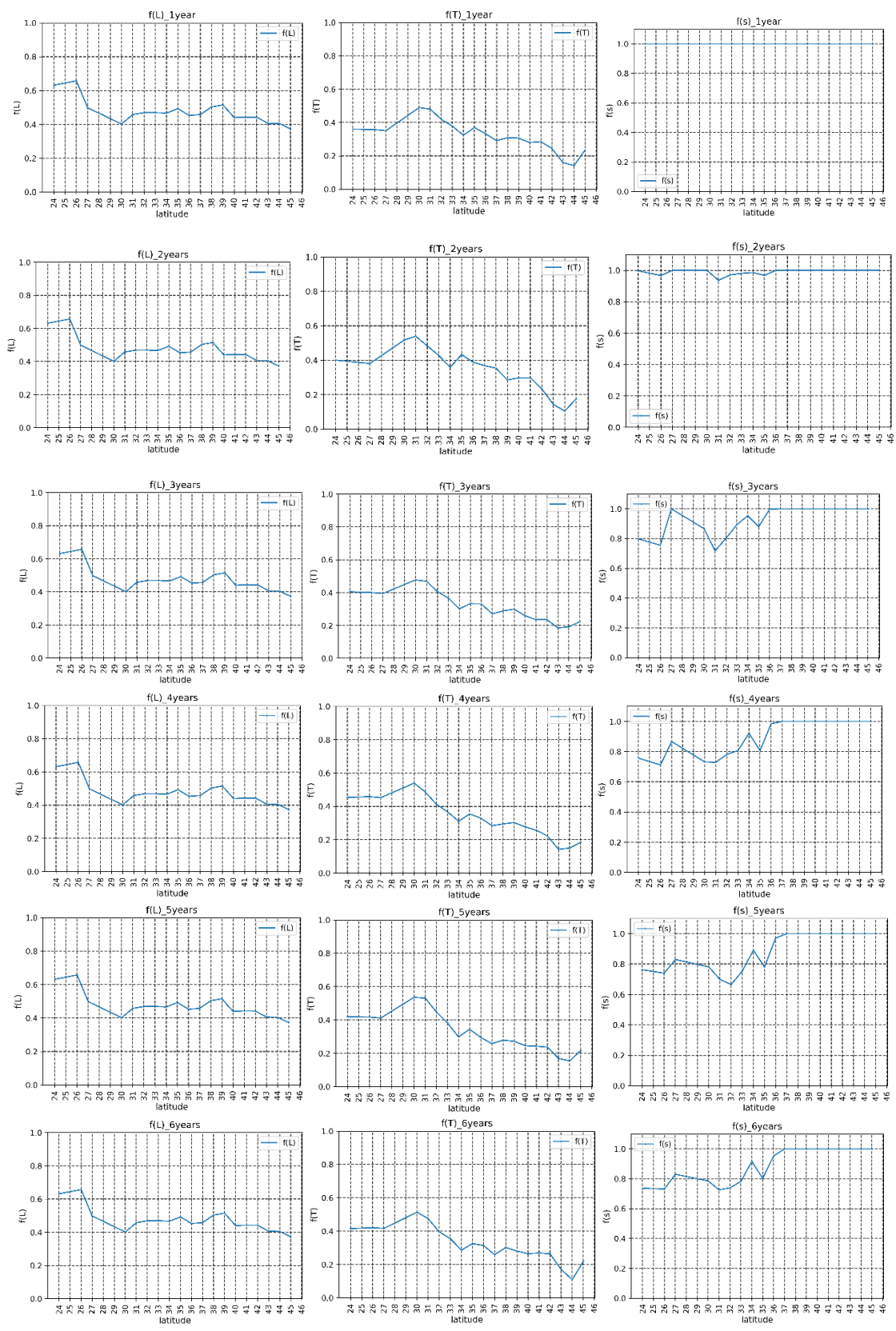


図 3-6-2：緯度別年別の水温，光，空間の生長制限項の年間平均値

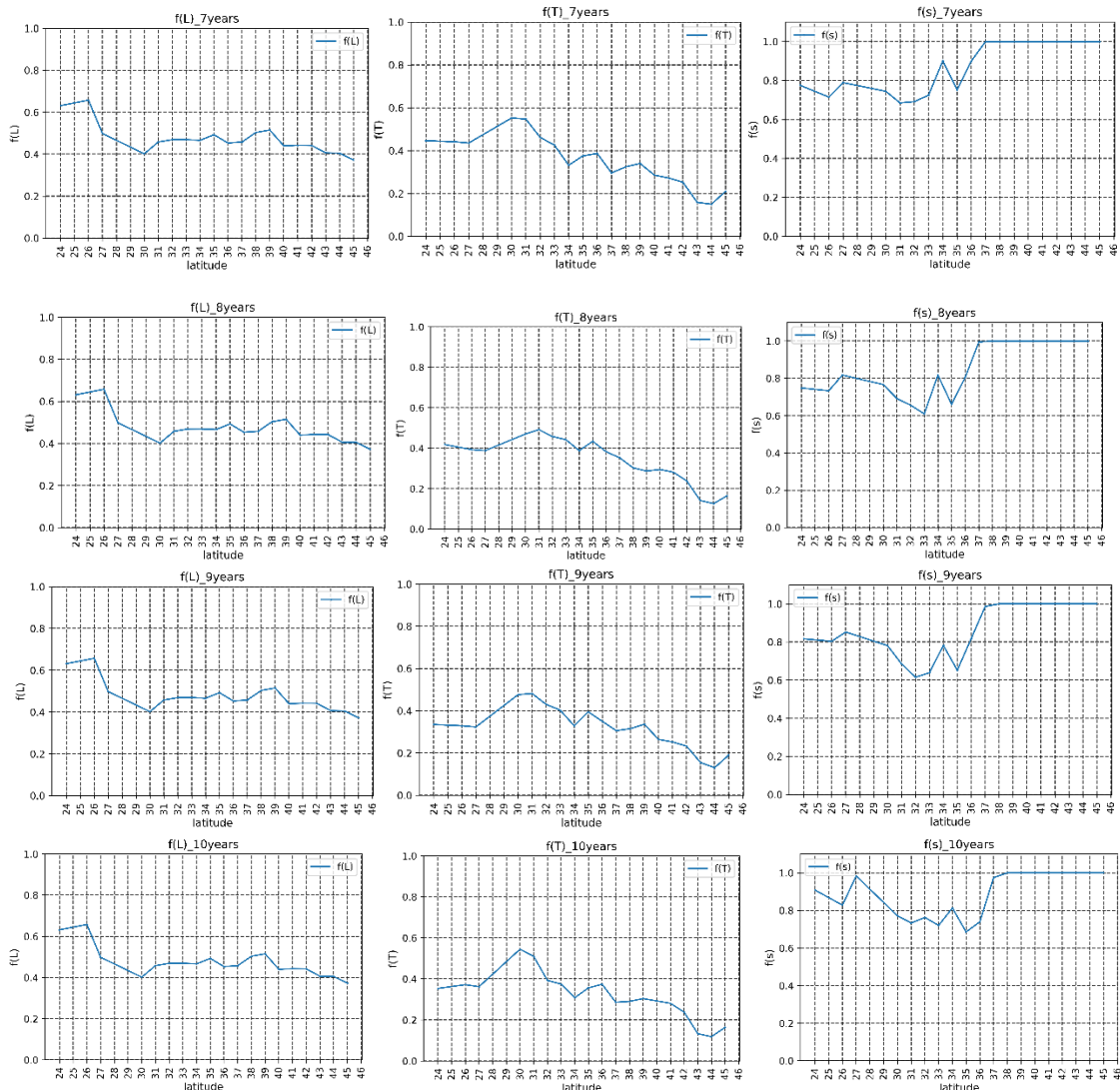


図 3-6-2：緯度別年別の水温，光，空間の生長制限項の年間平均値（続き）

3-6-2.考察

藻場地上部の年別年間平均現存量の緯度別頻度分布をみると，比較的緯度の高い地点である 42～45 度に分布するものは現存量の増加がみられず，24～35 度の現存量が多いことがわかった。また，水温，光，空間の生長制限項の緯度別年別の年間平均値をみると，水温に関する生長制限項について，29～32 度付近は他の地点と比較すると制限がかかりにくく，最大値と最小値の差は約 0.3 であった。さらに，光に関する生長制限について，緯度が低い 24～26 度は比較的制限がかかりにくく，最大と最小の差は約 0.2 であった。空間の生長制限項については，最大値と最小値の差は約 0.2～0.3 であった。

以上を踏まえ，42～45 度は水温・光の生長制限項の年間平均値が比較的低いため現存量が増加しにくいことが考えられる。24～35 度は水温・光の生長制限項の年間平均値が

比較的高いため現存量が増加しやすいことが考えられる。

4.二酸化炭素吸収量の試算結果と考察

数値モデルを用いて推定した生長量の計算結果を基に、各藻場の月別二酸化炭素吸収量を10年間分試算した。今回は藻場により隔離された二酸化炭素のうち、海中に貯留される二酸化炭素吸収量を見積もる。

まず、1節(4-1)で二酸化炭素吸収量の試算結果を示す。次に、2節(4-2)で時系列変化の分析、3節(4-3)で緯度別の分析、4節(4-4)で感度分析を行う。

4-1.二酸化炭素吸収量計算結果

二酸化炭素吸収量の試算結果を図4-1-1に示す。排出傾向の年もみられるが、10年間を通して基本的に吸収傾向がみられる。最小値が9年目の-5588.646739 (tCO₂ year⁻¹)、最大値が2年目の122193.8828 (tCO₂ year⁻¹)である。しかし、3章で現存量の計算結果を既往研究と比較・検証した結果、実測調査の結果と差がみられたため、この試算結果も過小評価、もしくは過大評価されている可能性が考えられる。

表 4-1-1：藻場による年別年間二酸化炭素吸収量

year	CO ₂ sequestration
	(tCO ₂ year ⁻¹)
1	27247.38243
2	122193.8828
3	72048.21997
4	72434.70483
5	37876.33769
6	10352.0932
7	87787.92226
8	73697.78613
9	-5588.646739
10	23971.82299

4-2.二酸化炭素吸収量計算結果の時系列変化

4-2-1.分析

まず、二酸化炭素吸収量について時系列変化の傾向をみる。藻場による年別年間二酸化炭素吸収量合計値を図 4-2-1、月別月あたり二酸化炭素吸収量合計値を図 4-2-2 に示す。

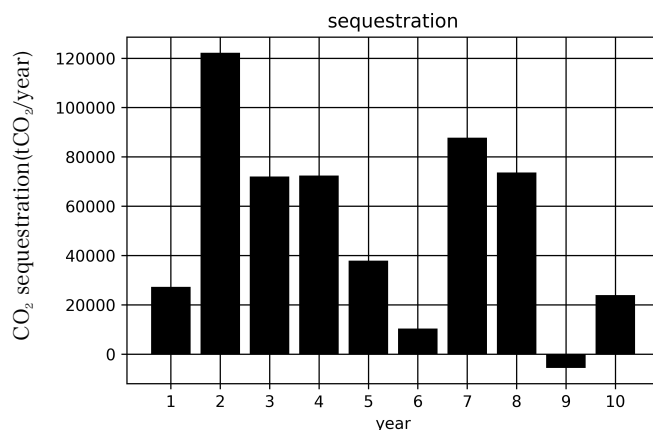


図 4-2-1：藻場による年別年間二酸化炭素吸収量合計値

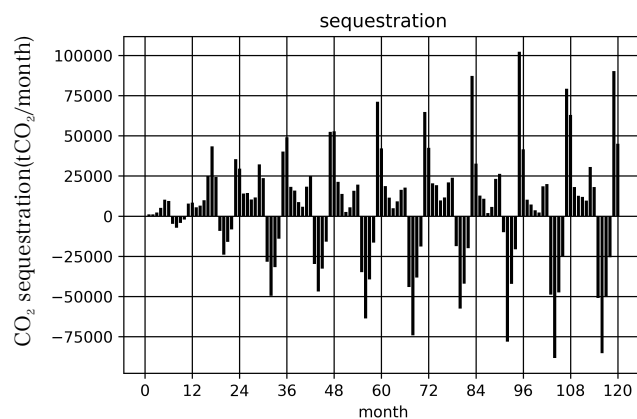


図 4-2-2：藻場による月別月あたり二酸化炭素吸収量合計値

グラフの詳細を説明する。図 4-2-1 について、横軸が年、縦軸が二酸化炭素吸収量 (tCO₂ year⁻¹) である。図 4-2-2 について、横軸が月、縦軸が二酸化炭素吸収量 (tCO₂ month⁻¹) である。

図 4-2-1 より、年あたりの総二酸化炭素吸収量について基本的に吸収傾向であることがわかった。特に、2 年目の吸収量は大きい。9 年目については放出傾向がみられた。

図 4-2-2 より、10 年間に於いて 11 月～5 月頃の繁茂期は吸収傾向、6, 7 月～10 月頃の

衰退期は放出傾向に傾くという、季節変化がみられる。最小値（最大排出量）は6, 7月が多く、最大値（最大吸収量）は11月に多くみられる。また、当てはまらない年もあるが、最大吸収量、最大排出量は年々上昇する様子がみられる。

4-2-2.考察

年別における年間総二酸化炭素吸収量について分析すると、基本的に吸収傾向がみられた。

最初に、2年目の吸収量が多いことについて考察する。まず、3章2節2項(3-2-2)、3章3節2項(3-3-2)で既述した通り、計算結果を既往研究と比較した結果より、本研究で試算した現存量の減少量が小さいことがわかっている。そのため、現存量が最大値に近づいた藻場から空間制限がかかりやすくなり、かつ、減少量が小さいため、その後の生長量が小さくなることが考えられる。また、既述した通り、初期値が適切でないことから計算期間の前半は現存量が全体と比較して小さいこと、減少量が小さいために計算期間の後半は現存量が大きくなるのが原因で、2年目の生長量が他の年と比較すると大きくなり、二酸化炭素吸収量が大きくなったことが考えられる。

次に、9年目のみに排出傾向がみられたことについて考察する。上記した通り、本研究の計算結果は既往研究の実測調査と比較すると減少量が少なく、計算期間の後半の年の現存量が大きくなる。3章1節(3-1)に記載した図3-1：藻場地上部年間平均現存量の時系列変化より、年が経過するにつれて藻場地上部年間平均現存量が徐々に約400~500 (gDW m⁻²)に集中する傾向、特に8~10年目にかけて、平均値がほぼ変化していないことが読み取れた。このことから、計算期間の後半の年は空間制限がかかり、生長量が負になり、結果として排出傾向がみられたことが考えられる。

以上より、今回の二酸化炭素吸収量の見積もりは過小評価されている可能性があると考えられる。モデルの基礎式の再検討と、日本各地の藻場現存量の長期的・定期的な調査により、今後精査していくことが必要であると考えられる。

4-3. 二酸化炭素吸収量計算結果の緯度別の傾向

4-3-1.分析

各藻場の現存量は、境界条件によって左右されると考えられる。今回は境界条件として水温、光のデータを与えている。日本はその形状より、緯度が高い地点のほうが水温が低く、また、緯度が低い地点の方が日射量が多い傾向がある。そのため、緯度別の二酸化炭

素吸収量試算結果を図 4-3-1 に示し、分析する。

グラフ詳細について説明する。縦軸が二酸化炭素吸収量 ($\text{tCO}_2 \text{ year}^{-1}$)、横軸が緯度を表す。左列の一番目が1年目、右列の1番目が2年目、左列の2番目が3年目という順番で10年間分示した。

1～5年目まで32～35度の吸収量が多い。6年目で24～33度において排出傾向がみられ、34～35度の吸収量が多い。6年目で31～33度で排出傾向がみられる。7年目は32～35度における吸収量が多い。8年目は34度の吸収量が多い。9年目では24～33度で排出傾向がみられる。最大吸収量は37度である。10年目はどの地点でも吸収傾向がみられ、37度の吸収量が多い。

以上より、今回の計算条件では、年によって異なるものの、10年間に於いて32～35度に分布する藻場の二酸化炭素吸収量が多いこと、排出がみられたのは24～33度であること、今回計算した10年間に於いて緯度が特に高い地点、緯度が特に低い地点に分布する藻場は吸収量が少ない傾向がみられることがわかった。

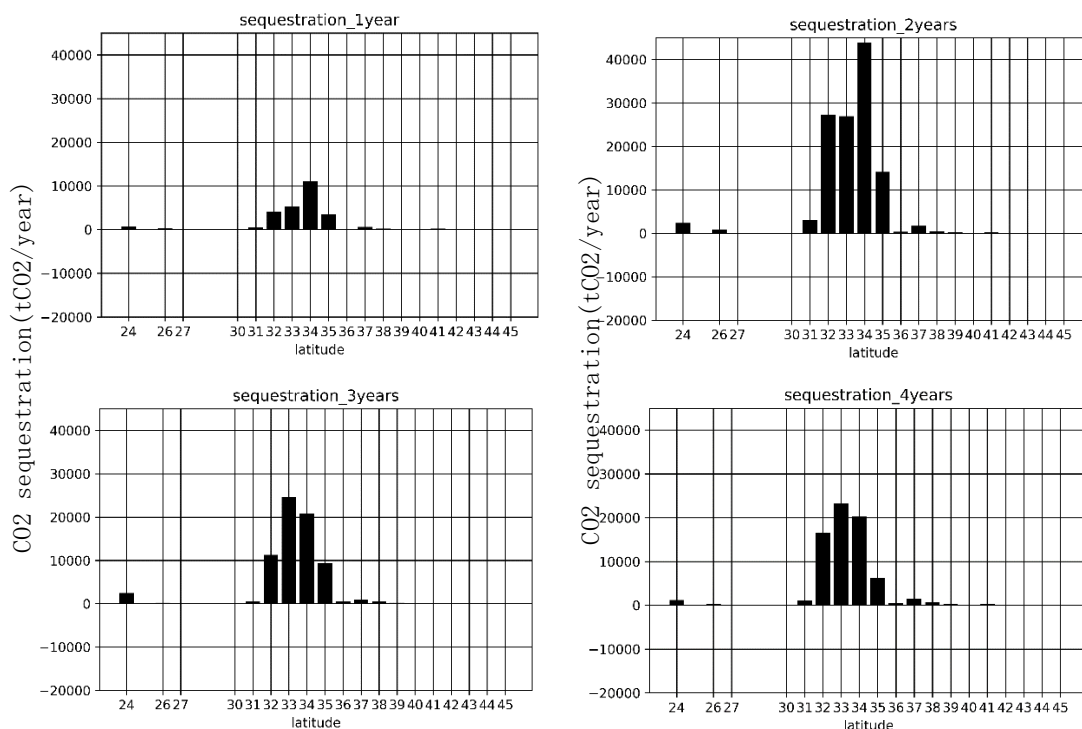


図 4-3-1：緯度別年別年間二酸化炭素吸収量

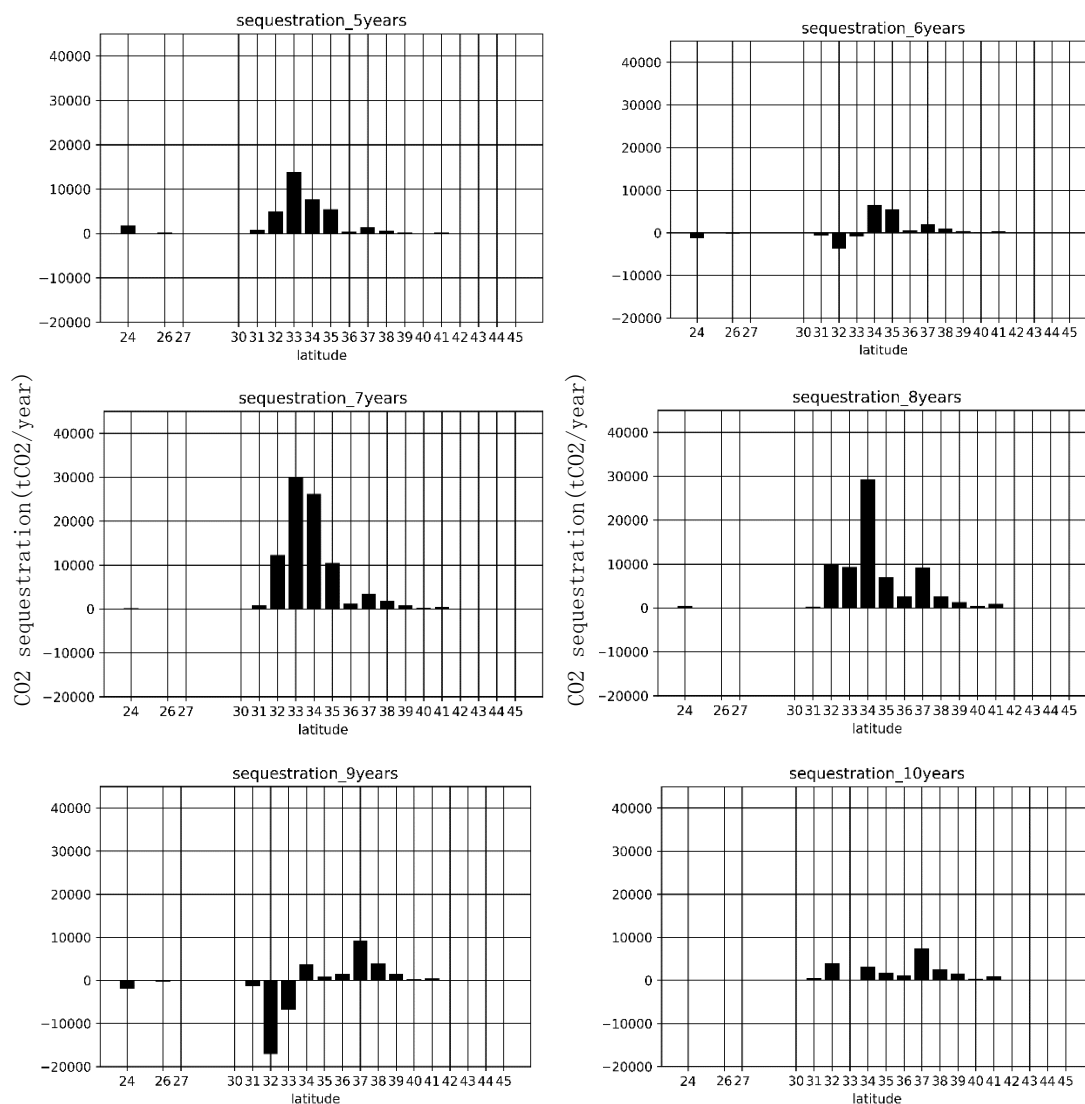


図 4-3-1：緯度別年別年間二酸化炭素吸収量（続き）

4-3-2 .考察

今回の計算条件では、年によって異なるものの、10年間に於いて32～35度に分布する藻場の二酸化炭素吸収量が多いこと、排出がみられたのは24～33度であること、10年間比較的緯度の高い地点に分布する藻場は吸収量が少ない傾向がみられた。これについて考察するべく、図4-3-2に緯度別の藻場分布頻度、藻場総面積を示す。

グラフ詳細を説明する。図上が緯度別藻場分布頻度、図下が緯度別藻場面積である。図上の縦軸は個、横軸は緯度である。図下の縦軸は面積 (ha) で横軸が緯度である。図より、32～34度には多くの藻場が存在すること、藻場の面積が大きいことが読み取れる。また、緯度が低い地点の藻場の分布頻度・面積はともに小さいことがわかる。

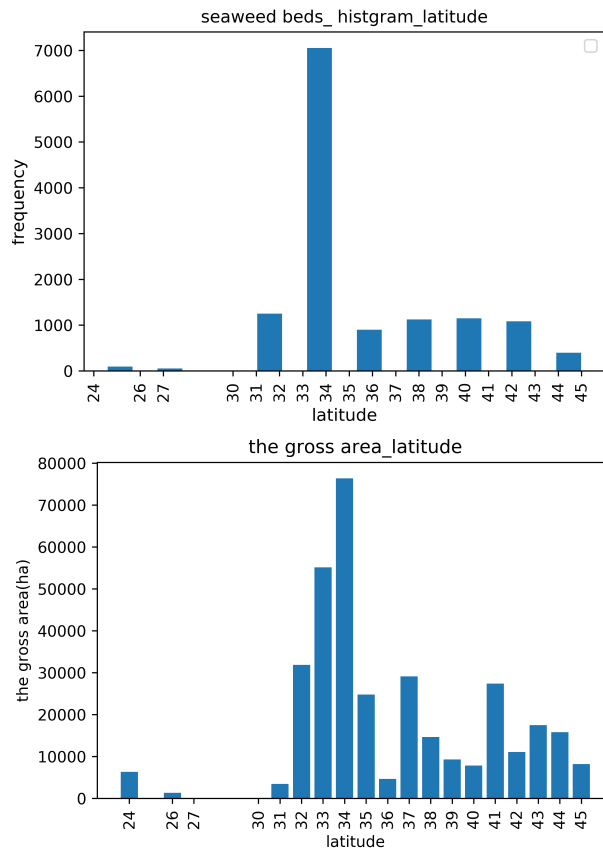


図 4-3-2：緯度別藻場分布頻度と分布面積

3章6節1項(3-6-1)に記載した図3-6-2：緯度別年別の水温，光，空間の生長制限項の年間平均値をみる．32～34度の範囲は，光の生長制限について最大値と比較すると，約0.1の差がみられる．最小値との差は約0.05である．水温の生長制限について最大値と比較すると，差は約0.1であり，最小値と比較すると約0.3の差がある．最小値の地点よりは制限がかかりにくい，それぞれの生長制限項の年平均値が大きい訳ではない．

以上より，水温の生長制限が比較的にかかりにくい地点であること，かつ，分布する藻場が多く，その面積が多いことが要因で，32～34度の範囲の二酸化炭素吸収量が多いことが考えられる．しかし実際のところは不明であるため，地点ごとに各生長制限項の時系列変化を分析するなど，精査が必要であると考えられる．

4-4. 感度分析

今回は、パラメータを変えて計算した場合のばらつきを分析する。既往研究を参考に数値モデルのパラメータ5つについてそれぞれ値を変えて年間二酸化炭素吸収量を10年間分

計算した。次に、パラメータ 5 つの値をそれぞれ変えた年間二酸化炭素吸収量の計算結果から、年ごとに各基準値の計算結果を差し引いた。その平均値と標準偏差の算出結果について図 4-4 に示す。なお、データについては、水温、全天日射量の日積算量の月別平年値、透明度それぞれの 10 年間の各月平均値を算出し、10 年間与えた。

グラフ詳細について説明する。縦軸は二酸化炭素吸収量 ($\text{tCO}_2 \text{ year}^{-1}$)、横軸がパラメータである。分析の対象とするパラメータは TOPT、ST、SMAX、SL、KL とする。TOPT については既往研究 (Bocci ら、1997、金澤ら、2006) を参考に 10、15、20 の 3 パターンの値で計算した結果を用いた。ST については既往研究 (Bocci ら、1997、金澤ら、2006) を参考に 3.6、5、6 の 3 パターンの値で計算した結果を用いた。SMAX については既往研究 (Bocci ら、1997、原出所：Douke ら、2000a,b、出所：Nakaoka and Aioi,2001,p13) を参考に、300、500、700 の 3 パターンの値で計算した結果を用いた。SL については既往研究 (Bocci ら、1997) を参考に 5、10、15 と設定し、計算した結果を用いた。KL については既往研究 (Bocci ら、1997) を参考に 1090、2090、3090、4090 と設定し、計算した結果を用いた。各パラメータの基準値は既往研究 (Bocci ら、1997) を参考に、TOPT は 20、ST は 3.6、SMAX は 500、SL は 5、KL は 2090 と設定した。

まず、KL のばらつきが大きいことが読み取れる。これについて、ほかのパラメータよりは 3 つの値を設定しているが、4 つの値を設定したことが要因であると考えられる。また、TOPT、ST、SMAX のばらつきはほぼ同程度であることが読み取れる。また、5 つのパラメータの中では SL のばらつきが最も小さい。このことから、SL については比較的感度が低く、既往の値を設定することに問題がない可能性が高いと考えられる。

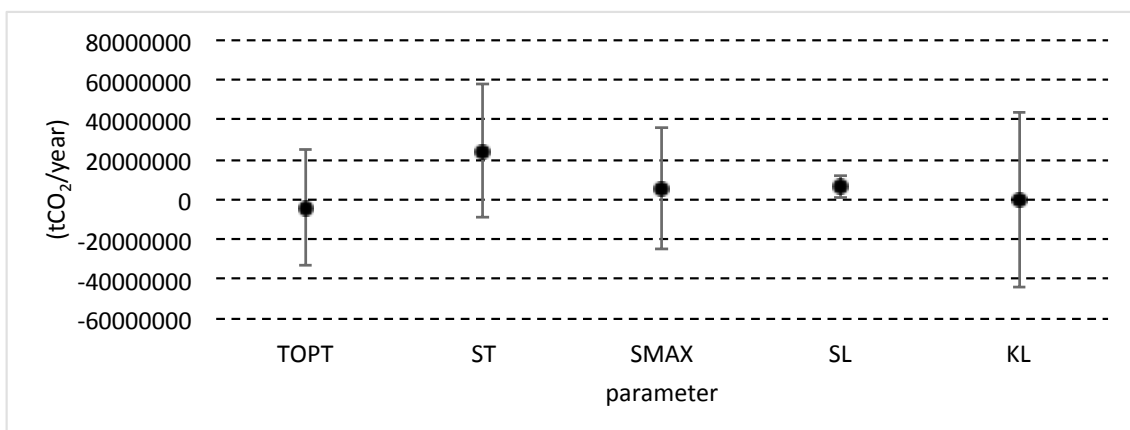


図 4-4：藻場による 10 年間の年間二酸化炭素吸収量感度分析の結果

5. 結論

本研究は、日本沿岸域におけるアマモ場による二酸化炭素吸収量を推定することを目的とした。そのため、日本沿岸全域に分布する藻場をアマモ場と仮定し、10年間の二酸化炭素吸収量についてオープンデータを用いてなるべく簡便な方法で試算した。さらに、推定方法の精度を高めるための改善点を分析した。

なお、本研究の目的は二酸化炭素吸収量を試算することであるが、現時点では日本全域を対象に各藻場の二酸化炭素吸収量を試算した研究はまだないため、この見積もり結果そのものを検証することはできない。そのため、比較的データセットの蓄積があるアマモ場地上部現存量について計算結果を既往研究と比較し、その妥当性を検証した。

まず、オープンデータをアレンジして藻場地上部現存量を試算した。そして、小豆島を対象とし、数値モデルを用いて現存量の変動を推定した既往研究の計算結果と実測調査と比較し、計算結果の妥当性について検証した。結果、既往の計算結果と実測調査と比較すると減少率が小さく、年変化が小さく表れた。これは、モデルのうち水温の生長制限項の詳細な算出方法と水面直下の水中光量の詳細な推定式を既往研究と異なるものを用いていることが原因と考えられるが、今後の精査が必要である。

さらに、緯度の異なる北海道（風連湖）、神奈川県（小田和湾）、鹿児島県（児ヶ水海岸）の3地点における実測調査の結果と比較・検証した結果、全体的に実測調査と比較すると減少率が小さいこと、地点ごとに実測調査との差が異なることがわかった。これについては既述した通り、モデルの複数の式について再検討することが必要と考えられる。また、地点ごとにパラメータを最適化させる必要があると考えられる。

次に、光、水温、空間に関する生長制限項のうち計算結果に影響を及ぼしているものを把握するべく、既述した3地点に着目し、複数のパラメータの感度分析をした。その結果、水温に関する生長制限項による現存量計算結果への影響が地点ごとに異なること、特に、水温に関するパラメータ TOPT の値を変えると地点ごとに傾向が大きく変わることがわかった。また、光に関するデータと生長制限項は水温のそれに比べて地点ごとの差が大きくないことがわかった。

最後に、藻場による10年分の二酸化炭素吸収量を試算した。結果、年ごとに値の幅があり、約-5600~120000 (tCO₂ year⁻¹) となった。これについては、現存量の計算結果を既往研究と比較したところ、過小評価、または、過大評価されている地点がみられたため、今後の精査が必要であると考えられる。さらに、パラメータの感度分析によると、水温に関するパラメータ ST, TOPT の吸収量の幅が大きかった。よって、この2つのパラ

メータについて地点ごとに最適化することが重要であると考えられる。

以上をまとめると、本研究ではオープンデータを用いた各藻場による二酸化炭素吸収量の試算と、その推定方法の精度を高めるために重要と考えられる数値モデルの改善点を考察した。地球温暖化が深刻化する現在、新たな二酸化炭素吸収源として期待できるブルーカーボン生態系の 1 つである藻場を地球温暖化対策計画へ位置づけるためにも、簡便でオープンデータを活用した推定方法を検討していくことには意義があると考えられる。そのため、本研究で開発された推定方法と、明らかになったその改善点は、今後、藻場による二酸化炭素吸収量の試算方法を構築する研究にとって重要なスタートアップとなっていると考えられる。

今後の展望としては、日本沿岸域に分布する藻場について長期的・定期的に調査を行うことで豊富な実測データを蓄積すること、地点ごとに数値モデルのパラメータを最適化させ、より精密な推定を行うことが求められる。

参考文献

- 石川雄介, 川崎保夫, 本多正樹, 丸山康樹, 五十嵐由雄: 電源立地点の藻場造成技術の開発第9報水中の光条件に基づくアマモ場造成限界深度の測定方法, 電力中央研究所報告 U88010, 1986.
- 鬼東年弘ほか: 炭素吸収量評価のための藻場・干潟炭素循環モデルの構築と改良, 平成 22 年度地球温暖化対策推進費委託事業「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」報告書, 67-71, 2011.
- 鬼東年弘ほか: 平成 25 年度地球温暖化対策推進費のうち「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」委託事業報告書, 75-90, 2014.
- 金澤剛, 鯉淵幸生, 磯部雅彦: アマモ生長予測モデルの開発と現地検証, 海岸工学論文集 第 53 巻, 土木学会, 1021-1025, 2006.
- 河野敬史, G. N. Nishihara, 寺田竜太: 日本産アマモ *Zostera marina* の分布南限群落における季節的消長と光合成特性, 日本水産学会, 78(4), 692-704, 2012.
- 環境省自然環境局生物多様性センター, 平成 29 年度モニタリングサイト 1000 アマモ場・藻場調査報告書, 2018.
- 環境庁自然保護局 財団法人海中公園センター: 第 4 回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査(干潟, 藻場, サンゴ礁調査), 第 2 巻藻場, 1994.
- 気象庁: 高松 2006 年(月ごとの値) 主要要素, 気象庁ホームページ. (2018.12.15.閲覧)
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>.
- 国分秀樹, 山田浩且: 伊勢湾内のアマモ場における炭素固定量の検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, I_1381-I_1386, 2015.
- 国立環境研究所, 環境数値データベース, 公共用水域水質. (2018.12.15.閲覧)
<http://www.nies.go.jp/igreen/index.html>.
- 水産庁マリノフォーラム 21: アマモ類の自然再生ガイドライン, 2007.
- 水理委員会 水理公式集改訂小委員会編: 水理公式集平成 11 年版, 土木学会, 585-588, 1999.
- 樽谷賢治ほか: 炭素吸収量評価のための藻場・干潟炭素循環モデルの構築と改良, 平成 22 年度地球温暖化対策推進費委託事業「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」報告書, 8-16, 2011.

- 樽谷賢治ほか: 炭素吸収量評価のための藻場・干潟炭素循環モデルの構築と改良, 平成 24 年度地球温暖化対策推進費委託事業「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」報告書, 9-18, 2013.
- 辻泰世: 亜寒帯汽水湖(風蓮湖)における微細藻類バイオマスの空間変動, 植物プランクトン, 底生微細藻類, 付着藻類の同時定量に基づいた多面的評価, 北海道大学大学院環境科学院博士論文, 2017.
- 中村由行, 細川真也, 三好英一, 桑江朝比呂, 小沼晋, 井上徹教, 神尾光一郎: メスコム水槽を用いたアマモの生育限界光量に関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No.1108, 23, 2005.
- 長谷川夏樹ほか: 平成 24 年度地球温暖化対策推進費のうち「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」委託事業報告書, 99-103, 2013.
- 藤原宗弘, 山賀賢一, 香川哲, 末永慶寛: 瀬戸内海東部の香川県小豆島沿岸における海藻の分布とアマモの季節変化, 香川県水産試験場研究報告 10, 9-15, 2009.
- ブルーカーボン研究会: ブルーカーボン研究会設立趣旨, 一般財団法人みなと総合研究財団. (2019.1.5.閲覧) <http://www.wave.or.jp/bluecarbon/index.html>.
- 堀正和, 桑江朝比呂(編): ブルーカーボン-浅海域における CO2 隔離・貯留とその活用, 地人書館, 2017.
- 森田健二, 竹下彰: アマモ場分布限界水深の予測評価手法, 土木学会論文集 No.741/VII-28, 39-48, 2003.
- 文部科学省国立天文台: 理科年表プレミアム国立天文台編, 理科年表オフィシャルサイト. (2018.12.15.閲覧) <http://www.rikanenpyo.jp/member>.
- 吉田吾郎ほか: 炭素吸収量評価のための藻場・干潟炭素循環モデルの構築と改良, 平成 22 年度地球温暖化対策推進費委託事業「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」報告書, 75-81, 2011.
- Barron, C., Apostolaki, E. T., Duarte, C. M: Dissolved organic carbon fluxes by seagrass meadows and macroalgal beds. *Front. Mar. Sci.* 1:42. doi: 10.3389/fmars.2014.00042, 2014.
- Bridgham, S. D: Carbon dynamics and ecosystem processes. In: *Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands*, D. P. Batzer and R. R. Sharitz(eds.), University of California Press, Berkeley, CA, USA, 277-309, 2014.

- 原出所: Douke, A., Itani, M. and Yoshiya, M., 2000a, Some aspects of eelgrass(*Zostera marina*) communities in Maizuru Bay. I. Monthly variations of density, standing crop and frequency distribution of shoot length. *Bull. Kyoto Inst. Ocean. Fish. Sci.* 22:22-28. (in Japanese with English abstract) (出所: Nakaoka and Aioi, 2001, p13)
- 原出所: Douke, A., Itani, M. and Yoshiya, M., 2000b, Some aspects of eelgrass(*Zostera marina*) communities in Maizuru Bay. II. Limit factors on eelgrass distribution. *Bull. Kyoto Inst. Ocean. Fish. Sci.* 22:29-35. (in Japanese with English abstract) (出所: Nakaoka and Aioi, 2001, p13)
- Duarte, C. M., Cebrián, J: The fate of marine autotrophic production. *Limnol. Oceanogr.* 41, 1758–1766. doi: 10.4319/lo.1996.41.8.1758, 1996.
- Duarte, C. M. , Krause-Jensen, D.: Export from seagrass meadows contributes to marine carbon sequestration, *Front. Mar. Sci.*, doi:10.3389/fmars.2017.00013, 2017.
- Duarte, C. M., Marba, N., Gacia, E., Fourqurean, J. W., Beggins, J., Barron, C. , Apostolaki, E. T: Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows, *Global Biogeochemical Cycles* VOL. 24 GB4032, doi:10.1029/2010GB003793, 2010.
- C. M. Duarte, I. J. Losada, I. E. Hendriks, I. Mazarrasa, N. Marbà: The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation, *nature climate change*, Vol.3, 961-968, 2013.
- Keita Aioi: SEASONAL CHANGE IN THE STANDING CROP OF EELGRASS(*ZOSTERA MARINA* L.) IN ODAWA BAY, CENTRAL JAPAN, *Aquatic Botany* 8, 343-354, 1980.
- Krause-Jensen, D., Duarte, C. M: Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nat. Geosci.* 9, 737–742. doi: 10.1038/ngeo2790, 2016.
- M. bocci, G. Coffaro, G. Bendoricchio: Modeling biomass and nutrient dynamics in eelgrass (*Zostera marina* L.): applications to the Lagoon of Venice (Italy) and Oresund (Denmark), *Ecological Modeling* 102: 67-80, 1997.
- McRoy, C. P., Barsdate, R. J: Phosphate absorption in eelgrass, *Limnology and Oceanography*, 15, 6-13, 1970.
- Nakaoka, M , Aioi, K: Ecology of seagrasses *Zostera* spp. (*Zosteraceae*) in Japanese waters: A review, *Otsuchi Marine Science* 26, 7-22, 2001.

- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2018.10.26. 閲覧)
https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search.
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., DeYoung, C., Fonseca, L., Grimsditch G.(ED.): Blue Carbon. The role of healthy oceans in binding carbon. A rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, 1-78, 2009.
- Hemminga, M. A., Duarte, C. M: Seagrass Ecology. Cambridge University Press, 298, 2000.
- IPCC: IPCC fifth assesment report, 2013.
- J. W. Fourqurean, C. M. Duarte, H. Kennedy, N. Marbà, M. Holmer, M. A. Mateo, E. T. Apostolaki, G. A. Kendrick, D. Krause-Jensen, K. J. McGlathery, O. Serrano: Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock, *naturescience*, Vol.5, 505-509, 2012.
- Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck Jr., K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Olyarnik, S., Short, F. T., Waycott, M., Williams, S. L: A Global Critic for Seagrass Ecosystems, *BioScience*, Vol. 56, No. 12, 987-996, 2006.
- Persons, T. R., Takahashi, M., Hargrave, B: 生物海洋学 2 粒状物質の一次生成, 高橋正征, 古谷研, 石丸隆監訳, 東海大学出版会, 1984.
- PlotDigitizerX. (2019.1.13.閲覧) <http://www.surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp/~nakahara/Software/PlotDigitizerX/index.html>.
- Reusch, T. B., Bostrom, C., Stam, W. T., Olsen, J. L: An ancient eelgrass clone in the Baltic, *Marine Ecology Progress Series* Vol.183, 301-304, 1999.
- The General Bathymetric Chart of the Oceans. (2018.10.26.閲覧) Gridded Bathymetry Data, https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data.
- T. TOKORO, S. HOSOKAW, E. MIYOSHI, K. TADA, K. WATANABE, S. MONTANI, H. KAYANNE, T. KUWAE: Net uptake of atmospheric CO₂ by coastal submerged aquatic vegetation, *Global Change Biology* 20, 1873-1884, 2014.
- UNFCCC: The Paris Agreement, Document FCCC, CP, L.9, Rev.1, 2015.
- Wada, S., Aoki, M. N., Mikami, A., Komatsu, T., Tsuchiya, Y. Sato, T., Shinagawa, H., Hama, T: Bioavailability of macroalgal dissolved organic matter in seawater, *Marine Ecology Progress Series*, Vol.370, 33-44, 2008.

Verhagen, J. H.G., Nienhuis, P.H: A simulation model of production, seasonal changes in biomass and distribution of eelgrass (*Zostera marina*) in Lake Grevelingen Marin Ecology Progress Series Vol.10, 187-195, 1983.

WebPlotDigister. (2019.1.5.閲覧) [https:// apps.automeris.io/wpd](https://apps.automeris.io/wpd).

謝辞

まず、本研究の主査でもある、指導教官の佐々木淳先生に厚くお礼申し上げます。なかなか結果の出ない研究でしたが、最後までご指導していただいたことによって、修士論文を書き上げることができました。大変お世話になりました。副指導教官の清家剛先生には、研究の説明の仕方などについて助言をいただきました。また、面談やメールでいただいた温かい励ましのお言葉は、大変励みになりました。心より感謝いたします。

また、修士論文を作成することができたのは、佐々木研究室における院生の皆様方の助けがあってこそでした。とりわけ、古畑さんと秦さんには研究の相談にたくさん乗っていただきました。遠藤さんにはわからないことや困ったことを相談させて頂きました。いつもとても丁寧に教えてくださり、ありがとうございました。他の皆さんにも、あたたかい言葉をたくさんかけて頂きました。佐々木研究室の皆様、大変お世話になりました。本当にありがとうございました。

社文の同期の皆様にも、感謝いたします。とりわけ、河村君にはプログラミング技術について大変多くのアドバイスをいただきました。その他の多くの友人たちも、異分野出身ということもあり、研究に多くの時間を割いているもののなかなか成果が出ず、修士論文執筆中の不安と苦悩の毎日を送る私を精神的に支えてくれました。ありがとうございました。

最後に、いつも体を気にかけてくれ、毎日応援してくれた家族に感謝します。

2019年1月 藤崎実玲