



林珍
Zhen Lin

地球温暖化で魚の大きさは変わるの？ 日本周辺の魚に注目して

伊藤進一 (東京大学大気海洋研究所)

本日の内容

1. 世界と日本の水産物事情
2. 第3の法則: 温度ーサイズ則
3. 魚類の体重の長期変動
4. 変動の要因
5. これからの展望

世界の水産物消費

水産物への期待

- 人口増加の倍の速度で、水産物の利用が伸びている。
- 水産物は人類にとってますます重要な食料となっている。

利用量(百万トン)

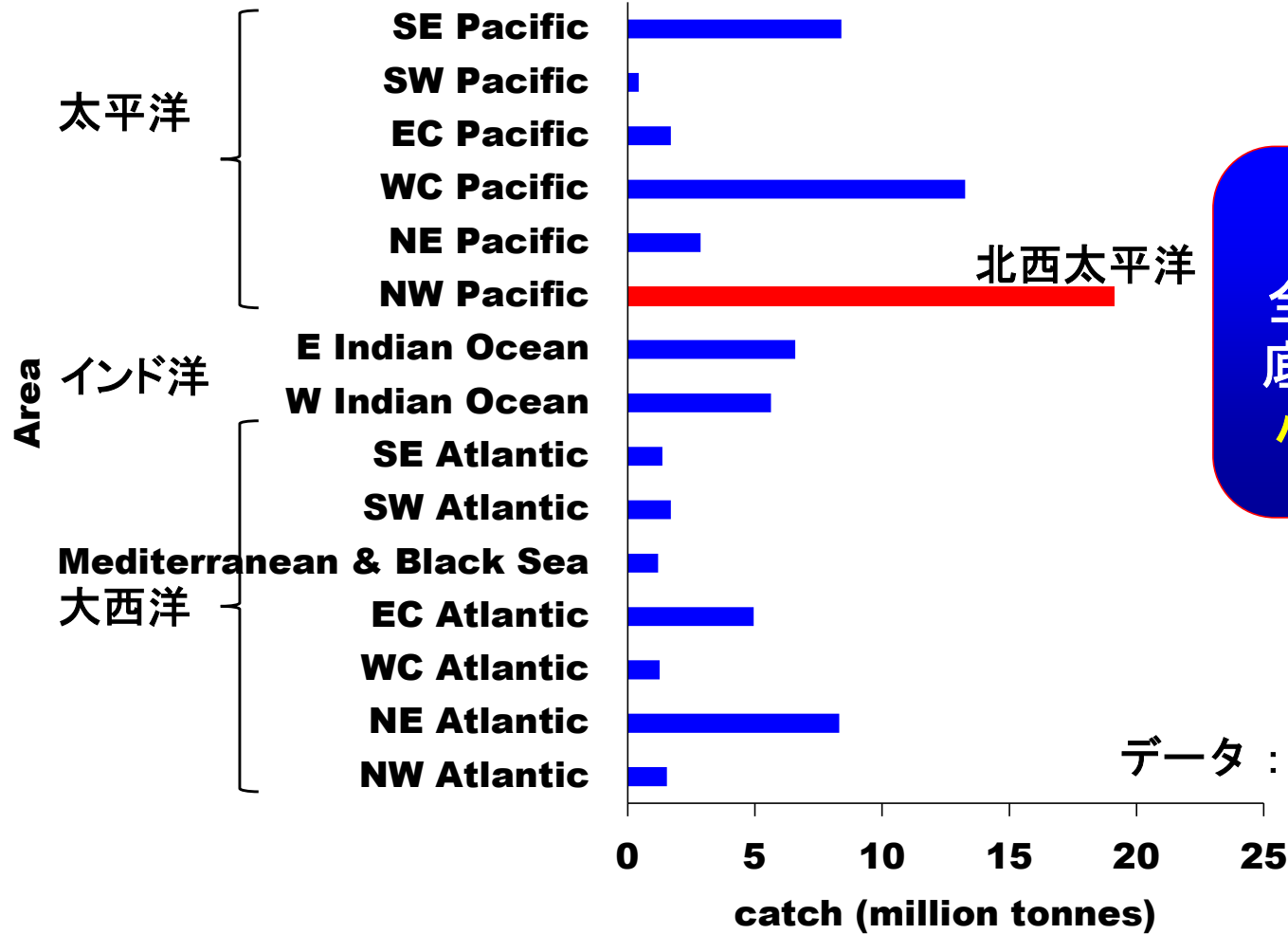
著作権の関係上、WEBに掲載できません。
FAO(2022) The state of world fisheries and aquaculture.
<https://www.fao.org/3/cc0461en/cc0461en.pdf>
のFigure 2をご覧ください。

---> 1人あたりの食料
としての水産物
供給 3.0 %

---> 世界の人口増加
1.6 %

北西太平洋

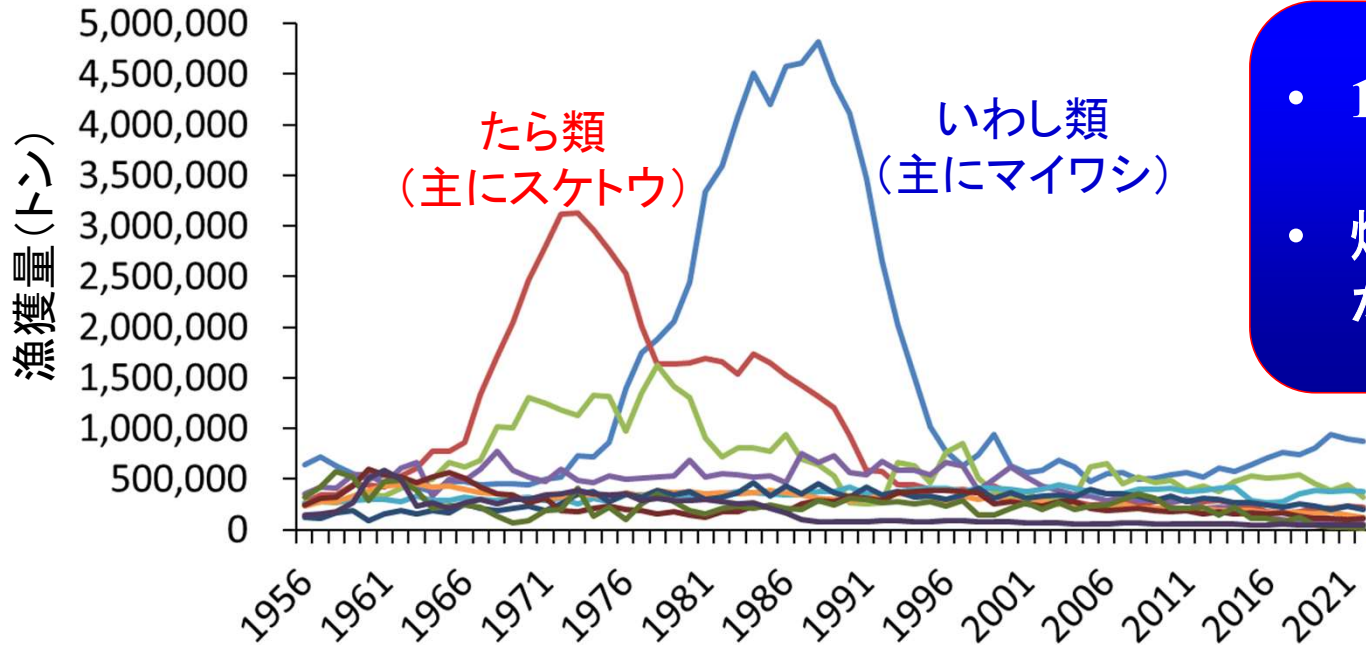
海域毎の漁獲量



面積比率6%の海域で、
全世界の24%の漁獲量を生産
底魚類だけでなく浮魚類も豊富
小型浮魚類の資源量も大きい

データ : FAO (2022)

日本の漁獲量

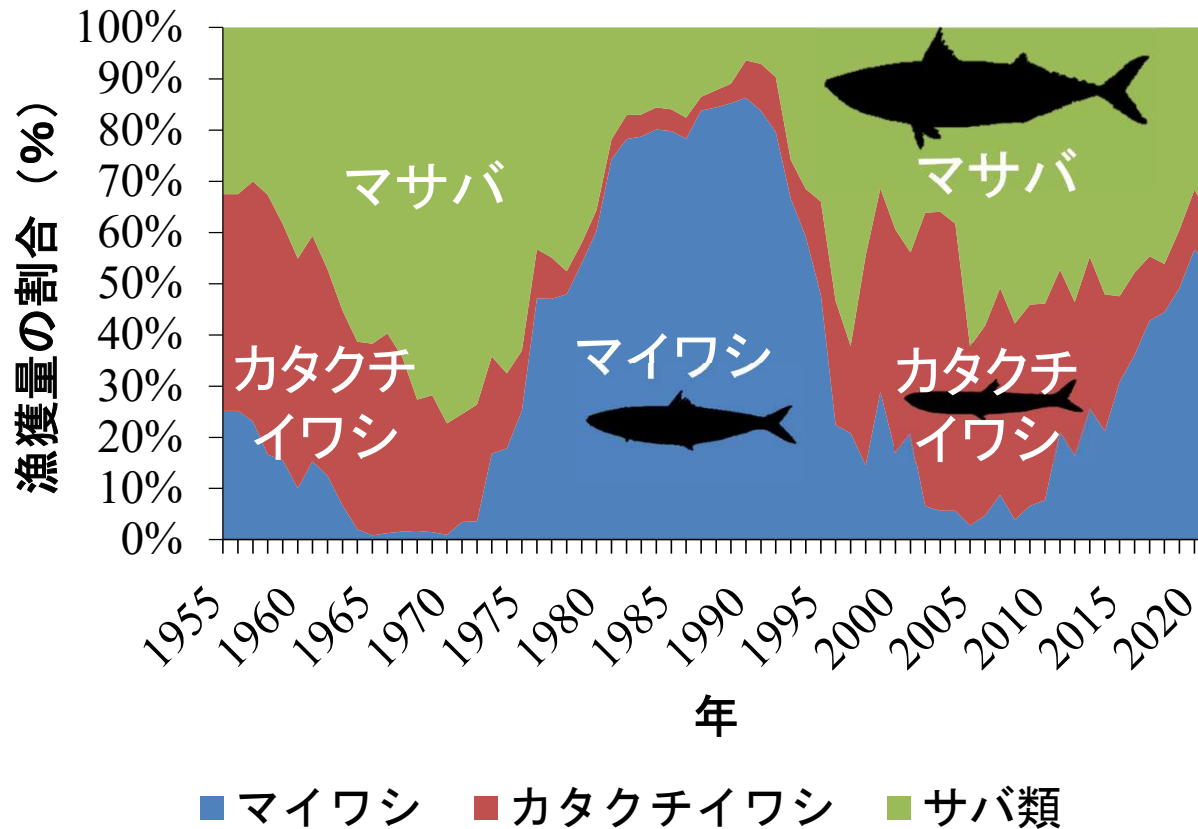


- 10年スケールで大きく変動
- 爆発的にある種が増えることがある

- いわし類
- たら類
- さば類
- いか類
- 貝類
- まぐろ類
- かつお類
- あじ類
- さんま
- ひらめ・かれい類

データ：漁業・養殖業生産統計年報

小型浮魚類の魚種交替



- 10年スケールで主体となる魚種が入れ替わる
- 気候変動と対応して生じるが原因はまだ未解明

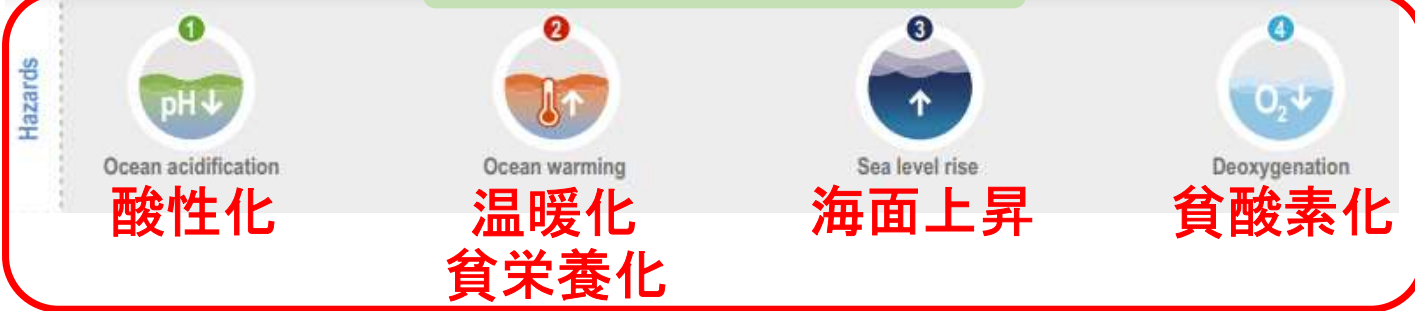
データ：漁業・養殖業生産統計年報

ただでさえ変動の激しい魚類は
地球温暖化が進行すると
どうなるの？

地球温暖化の海洋生態系への影響

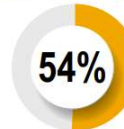


Climate Impact Driver



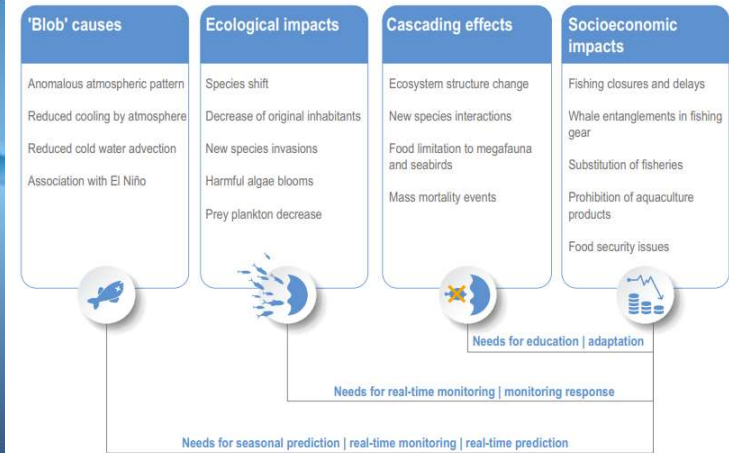
極端現象

How are marine heatwaves affecting marine life and human communities?



100年で海洋熱波54%増

Due to climate change, ocean heatwave days have increased by 54% over the past century. Marine heatwaves cause mass mortalities in a wide variety of marine species.



IPCC-AR6 (WGII)

＋開発，乱獲，汚染
(含むマイクロプラ)

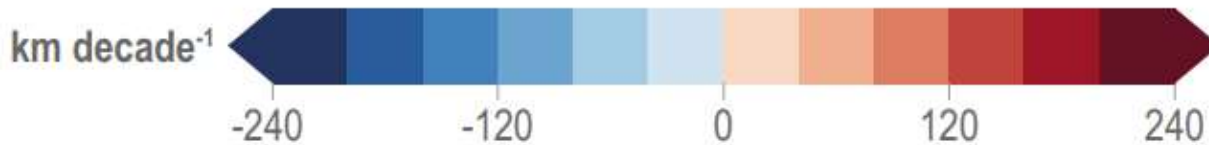
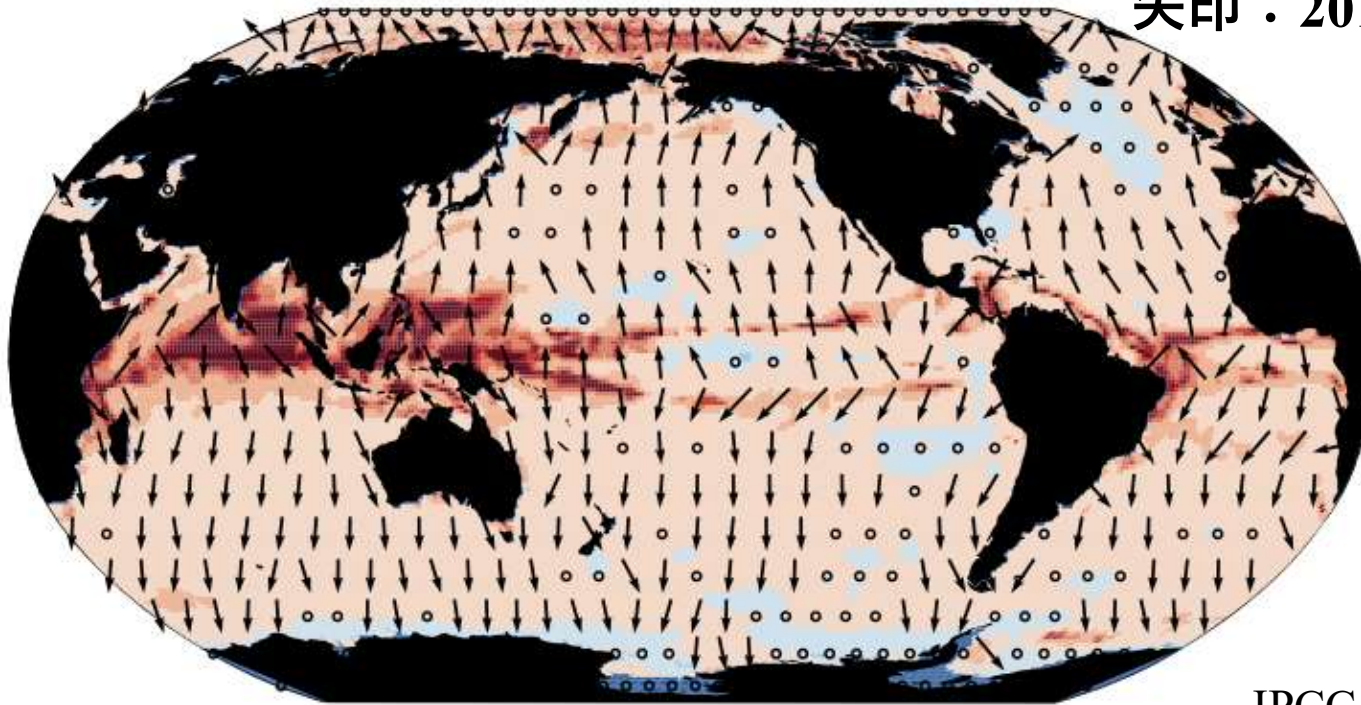
IPCC AR6 WGII (2022)

IPCC: 気候変動に関する政府間パネル

温暖化の影響：生息域の地理的移動

気候速度
(b) Climate velocity

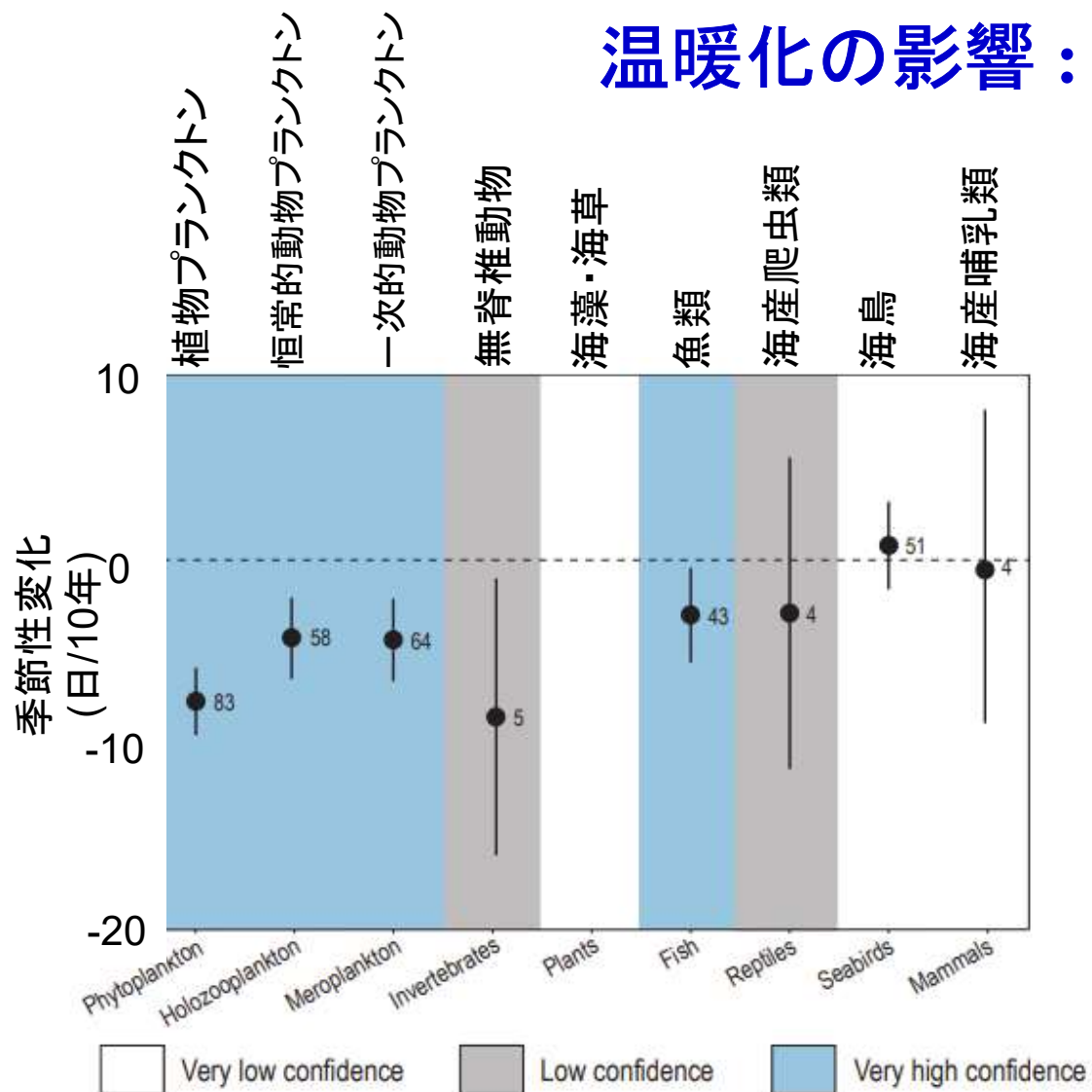
色：2016年－1925年の等温線移動速度
矢印：2016年－1925年の等温線移動方向



- 魚類は体温を維持できない外温動物
- 適水温帯の移動に伴い、多くの生物が極方向へ移動が必要。

IPCC AR6 WGII (2022)
Oliver et al. (2018)

温暖化の影響：季節性の変化



温暖化に伴って、多くの種が季節性の早期化を経験している。

- 春季ブルーム時期
- 回遊時期
- 産卵期

しかし、季節性の変化の度合いは主によって異なる。

被食-捕食関係が、季節性の応答様式を複雑にしている。

温暖化の影響：温度－サイズ則

著作権の関係上、WEBに掲載できません。

Courtesy of Paul Spencer

温度－サイズ則

高温で育ったものは、仔魚の成長は早いですが、小さい体サイズで成熟する(Atkinson, 1994)

北海における多魚種に共通した仔魚の大型化と成魚の小型化
(Baudron et al., 2014; Ikpewe et al., 2020)。

しかし、他の海域では温度－サイズ則に従っていないという報告もある
(Audzijonyte et al., 2020; Solokas et al., 2023)

研究の出発点(疑問)

1. 日本周辺海域は水温上昇が激しい海域
⇒温度－サイズ則によって成魚の小型化が起きているのだろうか？
2. マイワシが増えすぎて動物プランクトンが減少し、マイワシが体重減少したという報告がある(Tadokoro et al., ; Ito et al., 2007)
⇒密度効果と温度－サイズ則とどちらが重要？

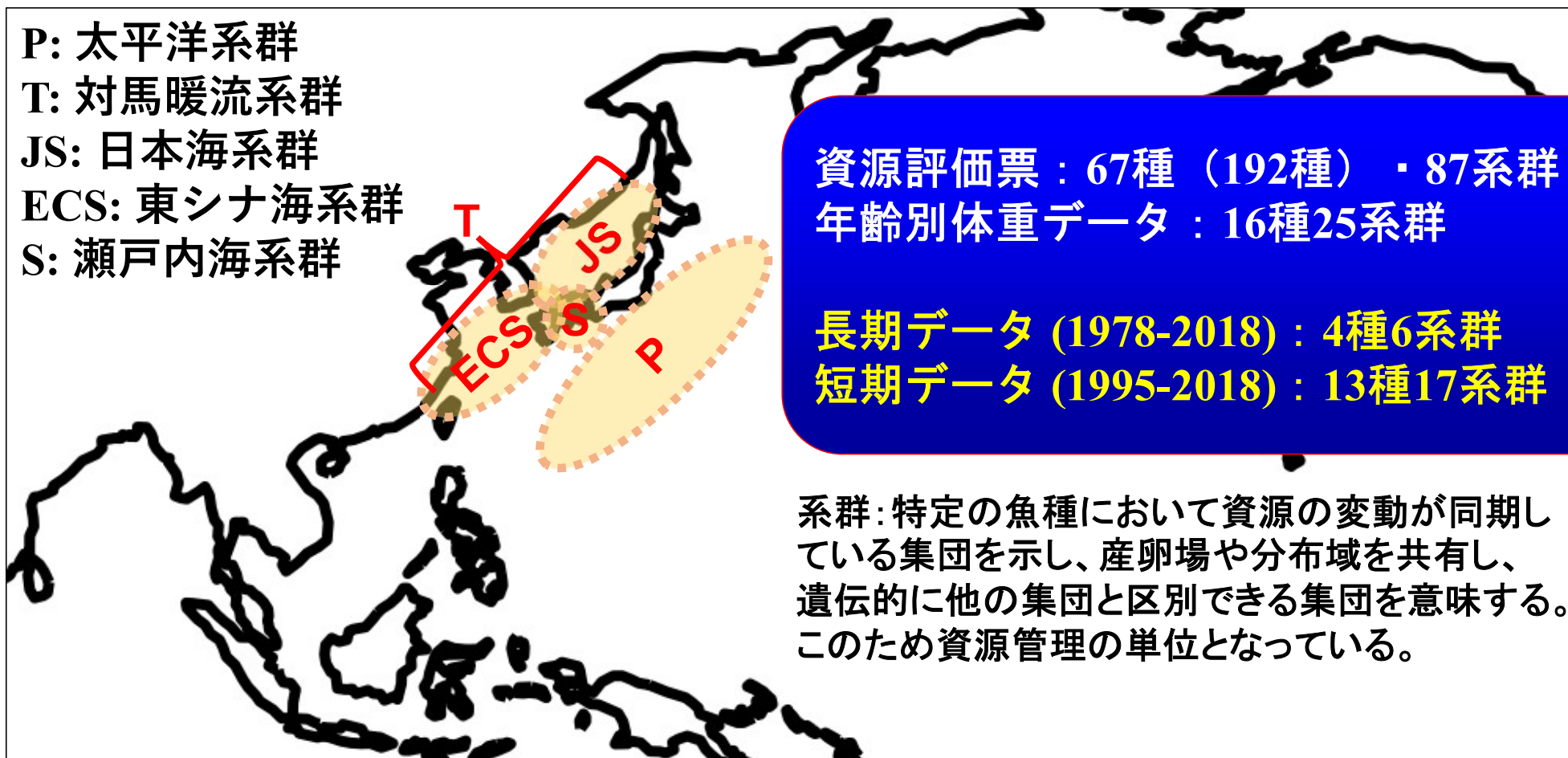
研究の目的

1. 日本周辺海域での魚類のサイズ(体重)変動を記述
2. サイズ(体重)変動の要因を分析

魚種別系群別資源評価票

(水産庁, 水産研究・教育機構, 2021)

P: 太平洋系群
T: 対馬暖流系群
JS: 日本海系群
ECS: 東シナ海系群
S: 瀬戸内海系群



資源評価票 : 67種 (192種) ・ 87系群
年齢別体重データ : 16種25系群

長期データ (1978-2018) : 4種6系群
短期データ (1995-2018) : 13種17系群

系群: 特定の魚種において資源の変動が同期している集団を示し、産卵場や分布域を共有し、遺伝的に他の集団と区別できる集団を意味する。このため資源管理の単位となっている。

データ

ID	Name	Species	Population	Age	1976	Data availability	2018
1	マイワシ Japanese sardine	<i>Sardinops melanostictus</i>	Pacific	0-5	1976-2018		
2			Tsushima	0-5	1960-2018		
3	Japanese jack mackerel	<i>Trachurus japonicus</i>	Pacific	0-3	2005-2018		
4			Tsushima	0-3	1997-2018		
5	マサバ chub mackerel	<i>Scomber japonicus</i>	Pacific	0-6	1970-2018		
6			Tsushima	0-3	1997-2018		
7	blue mackerel	<i>Scomber australasicus</i>	Pacific	0-4	1995-2018		
8			East China Sea	0-3	1992-2018		
9	walleye pollock	<i>Theragra chalcogramma</i>	Sea of Japan	1-10	2013,2014,2016(1);2013-2018(2-10)		
10			Pacific	0-10	1998-2018(0-8); 1998-2018(9);1999-2018(10)		
11	ウルメイワシ round herring	<i>Etrumeus micropus</i>	Pacific	0-1	1999-2018		
12			Tsushima	0-2	1976-2018		
13	カタクチイワシ Japanese anchovy	<i>Engraulis japonicus</i>	Pacific	0-3	1978-2018		
14			Tsushima	0-2	1977-2018		
15	Pacific cod	<i>Gadus macrocephalus</i>	Pacific North	1-6	1996-2018		
16	Japanese yellowtail	<i>Seriola quinqueradiata</i>	Japan	0-3	1994-2018		
17	western sand lance	<i>Ammodytes japonicus</i>	Seto Inland Sea East	0	1989-2018		
18	Japanese Spanish mackerel	<i>Scomberomorus niphonius</i>	Seto Inland Sea	0-5	1987-2018(0-4);1987-1997(5)		
19	pointhead flounder	<i>Hippoglossoides pinetorum</i>	Sea of Japan	1-4	1997-2018		
20	Japanese pufferfish	<i>Takifugu rubripes</i>	Tsushima	0-4	2002-2018		
21	Kichiji rockfish	<i>Sebastes macrochir</i>	Pacific North	2-10	1995-2018(2-5);2006-2018(6-10)		
22	red seabream	<i>Pagrus major</i>	Pacific Central	0-6	1999-2017		
23			Pacific South	0-5	2002-2018		
24	olive flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	Pacific South	0-6	2001-2018		
25			Pacific Central	0-6	2001-2018		

データ処理

1. 体長データはほとんど記載されていなかった。
⇒年齢別の体重データを使用

2. 大きい魚種もいれば小さい魚種もいる
⇒規格化

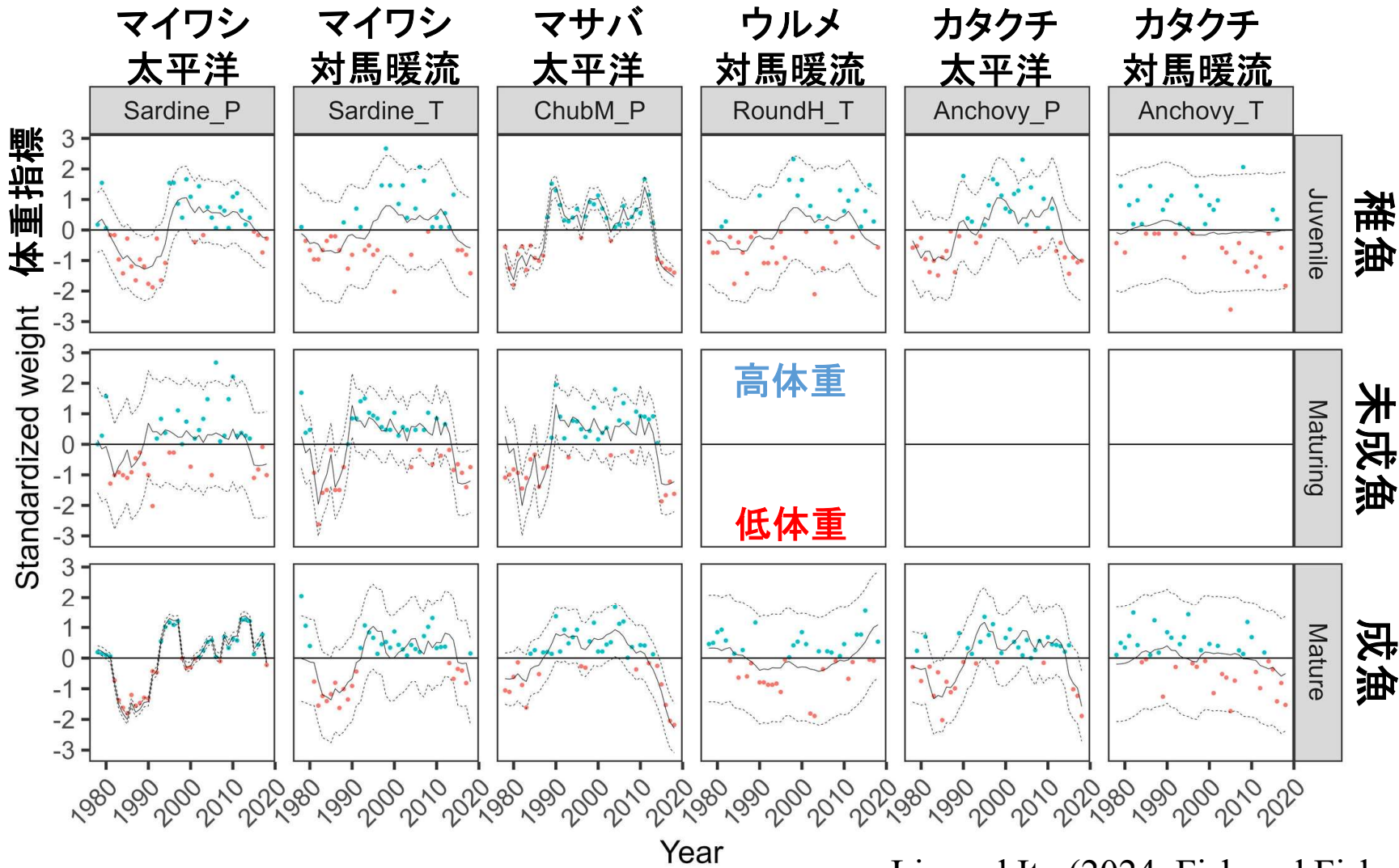
その年の体重 - 長期平均体重
標準偏差



3. それぞれの魚種がばらばらに変動している
共通トレンドを抽出(動的因子分析)

動的因子分析: 株価の変動の解析に使われる方法
数個の要因で全体の変動を表現

長期の体重指標データ

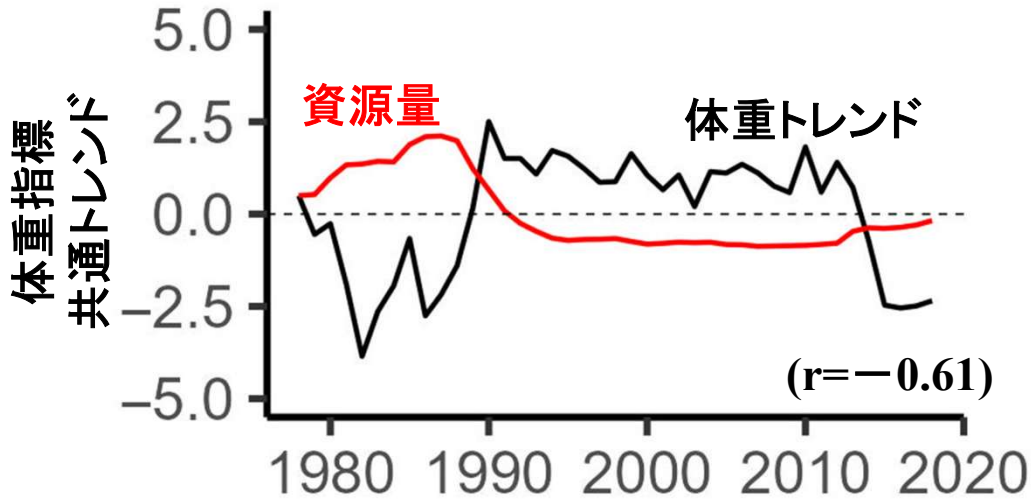


1980年代と2010年代に低体重を示す魚種・系群が多い。

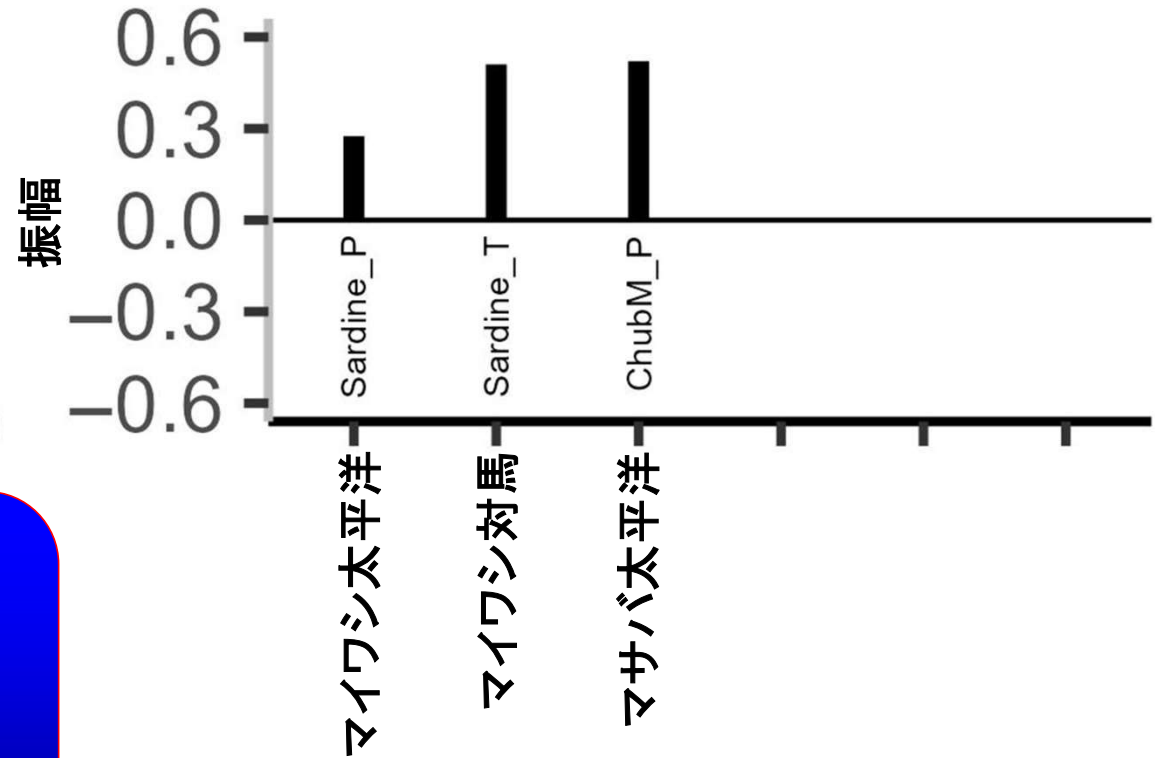
稚魚，未成魚，成魚で共通。

未成魚の体重トレンド

Trend 1 (Maturing)



Trend 1 (Maturing)



1980年代と2010年代に低体重傾向。

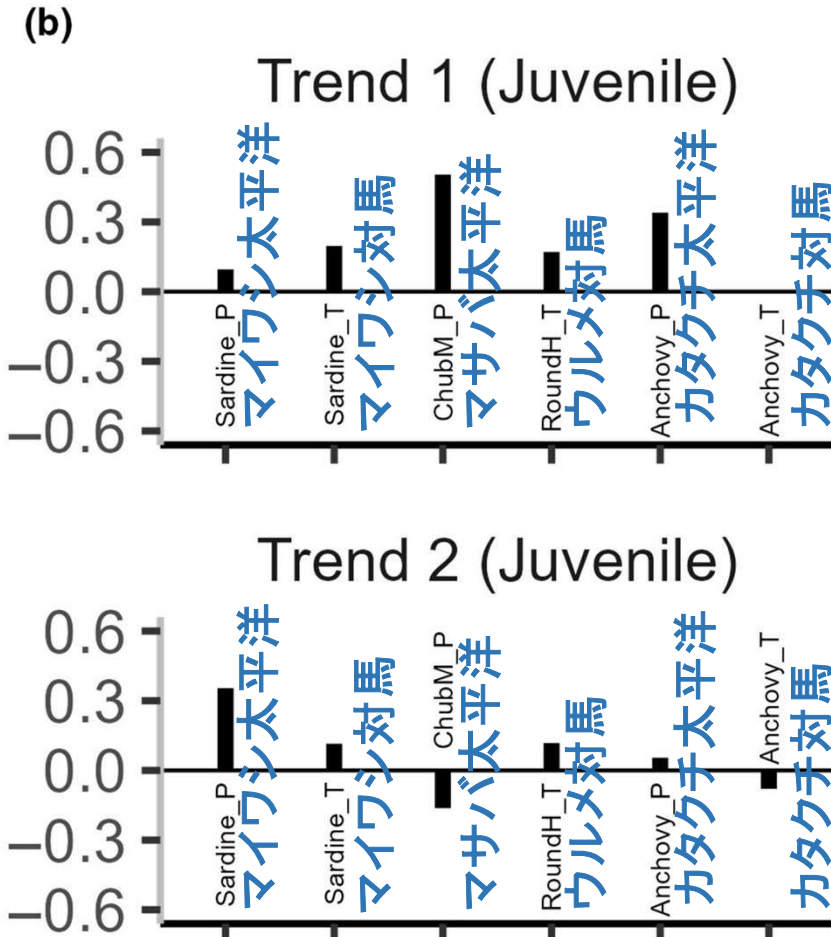
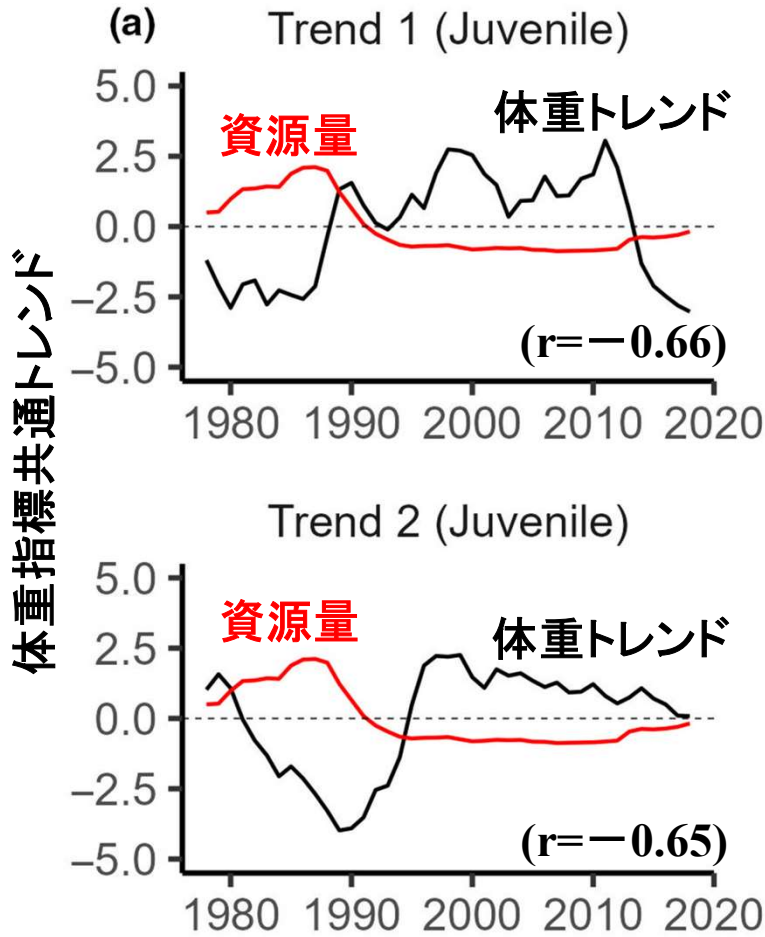
1980年代はマイワシ増大期に相当。

⇒密度効果

(赤線: マイワシ+マサバ+カタクチイワシの総資源量)

Lin and Ito (2024, Fish and Fisheries)

稚魚の体重トレンド

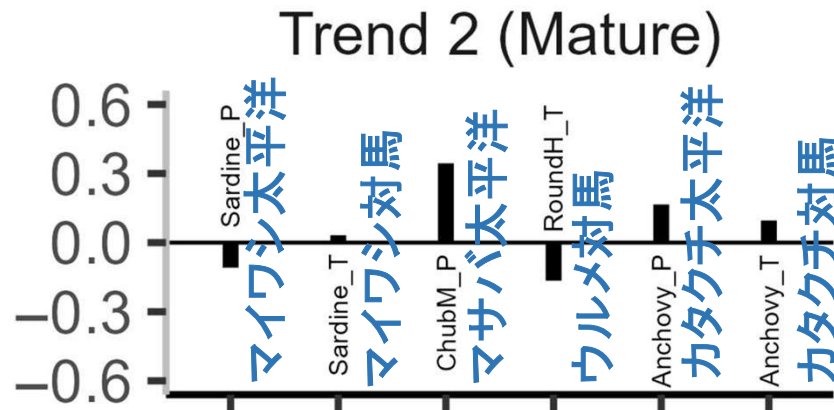
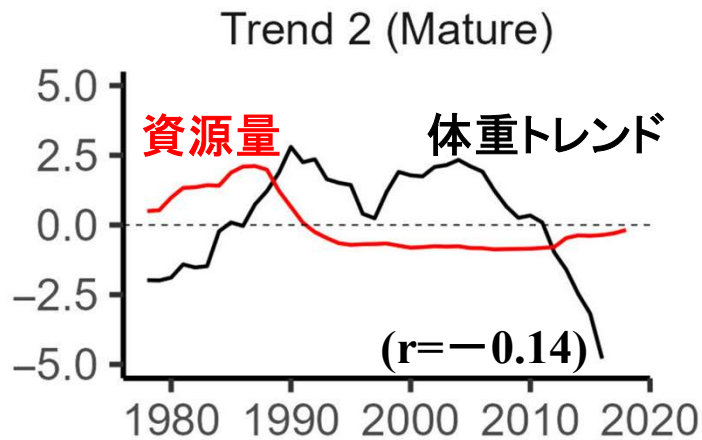
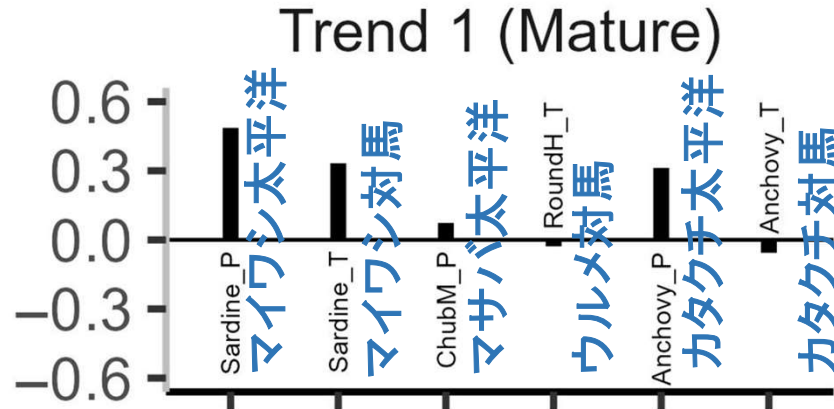
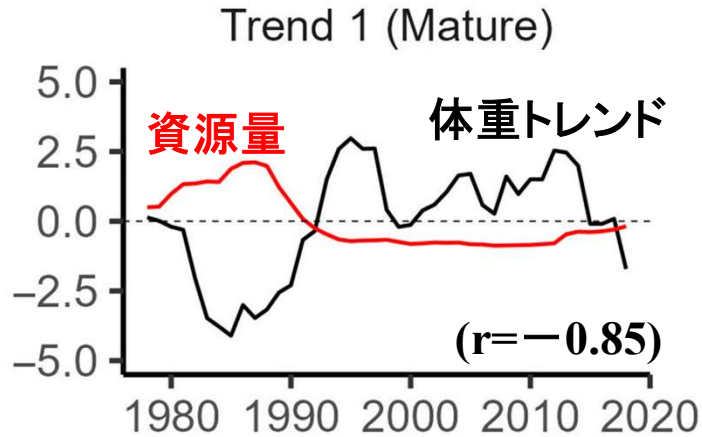


1980年代と2010年代に低体重傾向。
 1980年代はマイワシ増大期に相当。
 (マイワシの体重減少は1990年代前半まで継続)

Lin and Ito (2024, Fish and Fisheries)

成魚の体重トレンド

体重指標共通トレンド



1980年代と2010年代に低体重傾向。

1980年代はマイワシ増大期に相当。
(成魚の体重減少は1990年代前半まで継続傾向)

2010年代はそれほど資源量は大きくない。

Lin and Ito (2024, Fish and Fisheries)

長期の体重トレンドは
マイワシの増大に起因する餌不足が影響

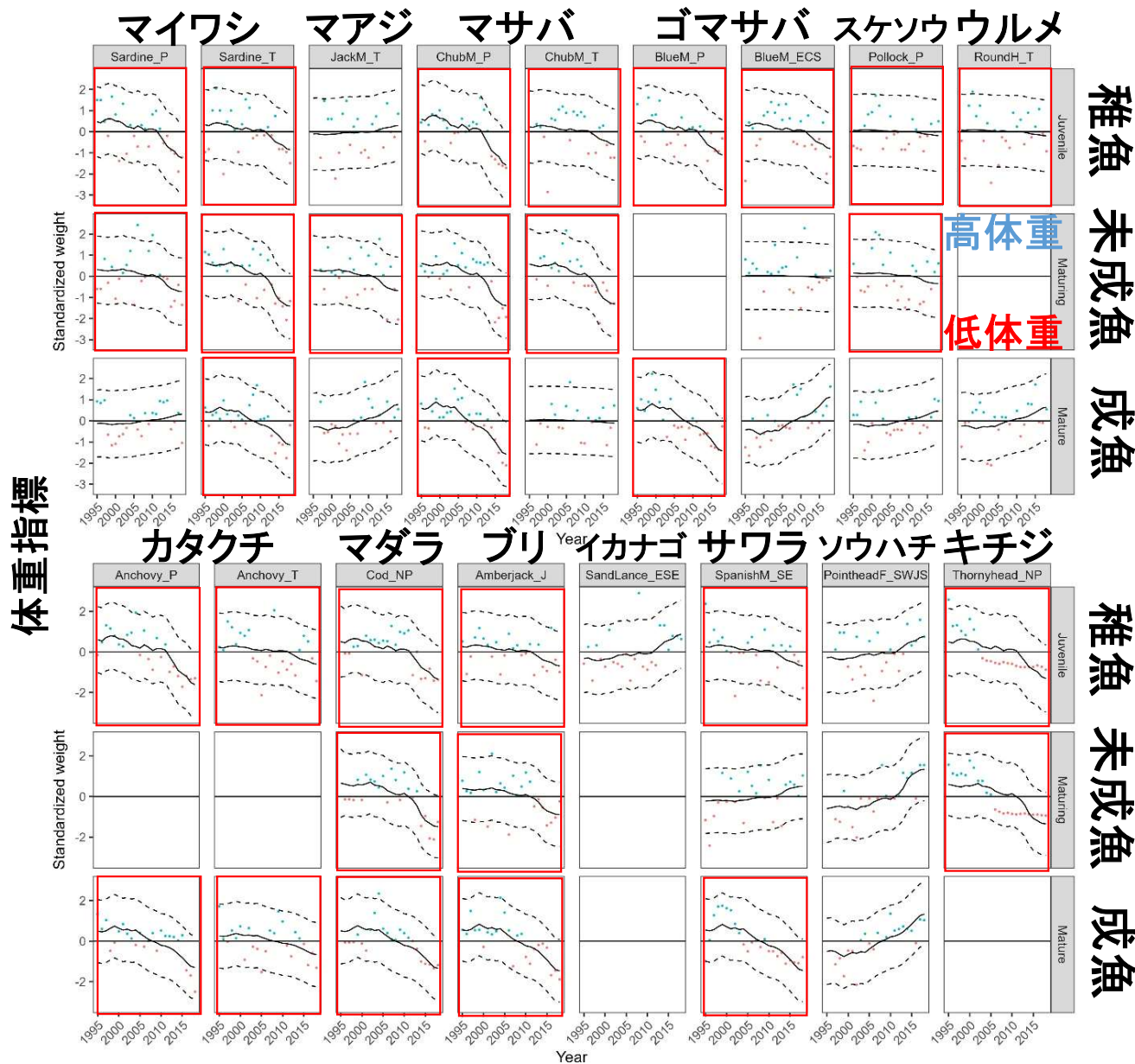
【密度効果】

1980年代は確実

2010年代は疑問



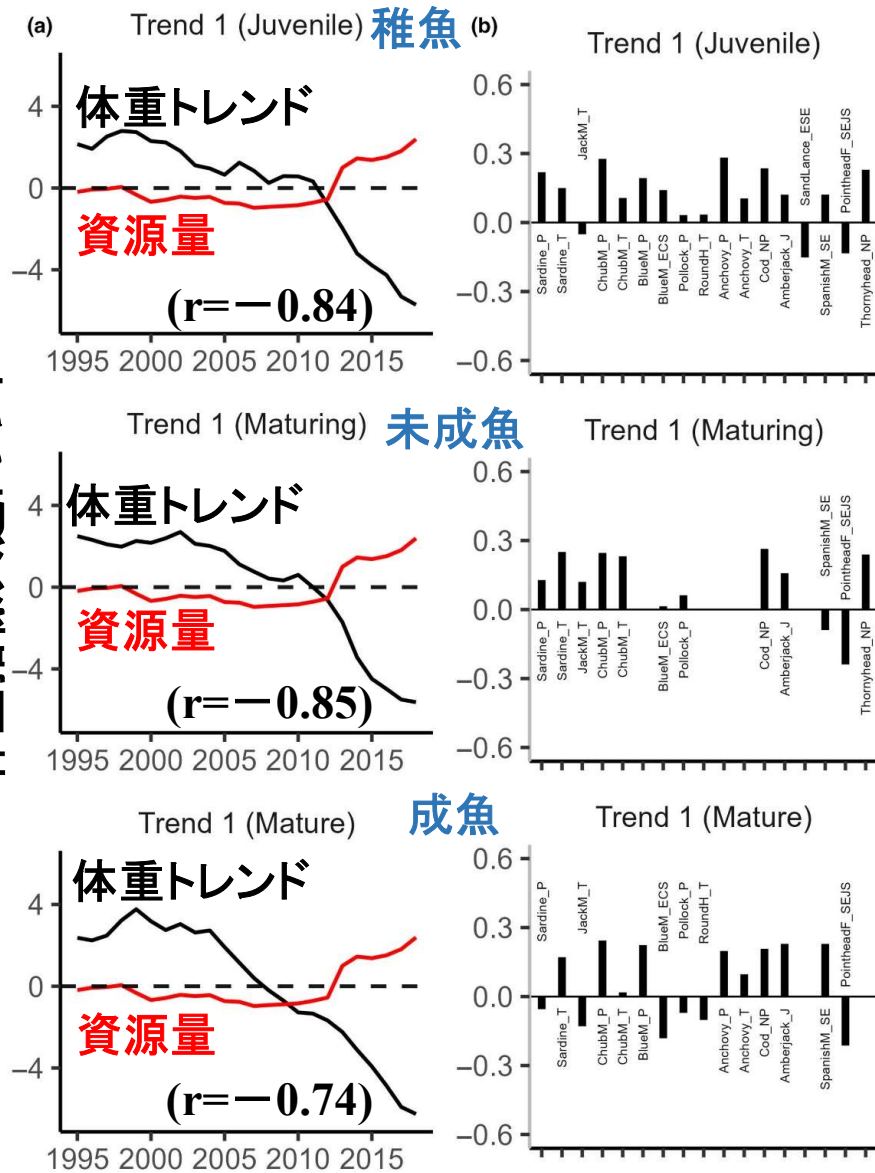
魚種・系群を増やして
短期時系列を調べてみる



短期の体重指標データ

2010年代に低体重を示す魚種・系群が多い。

稚魚，未成魚，成魚で共通。

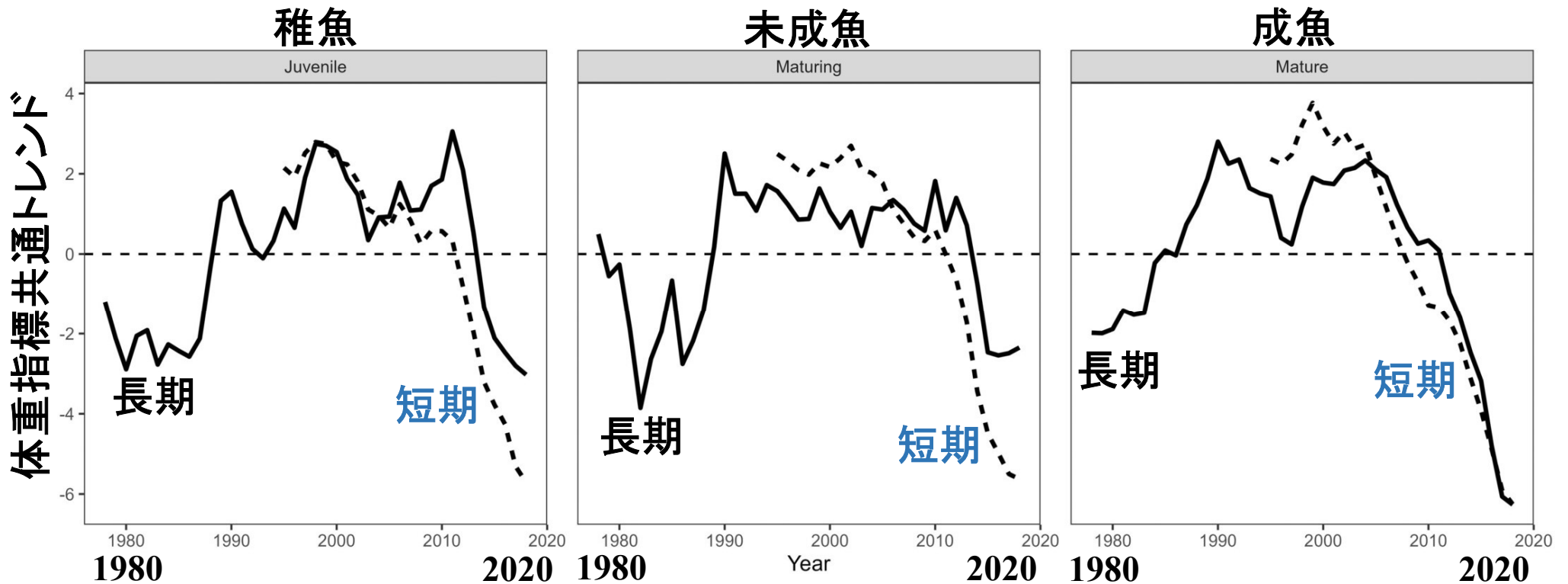


短期時系列の体重トレンド

13種17系群にデータを増やしても
2010年代に低体重傾向。

マイワシ+マサバ+カタクチイワシの総資源量と有意な負相関
⇒密度効果？

長期 vs 短期時系列の体重トレンド

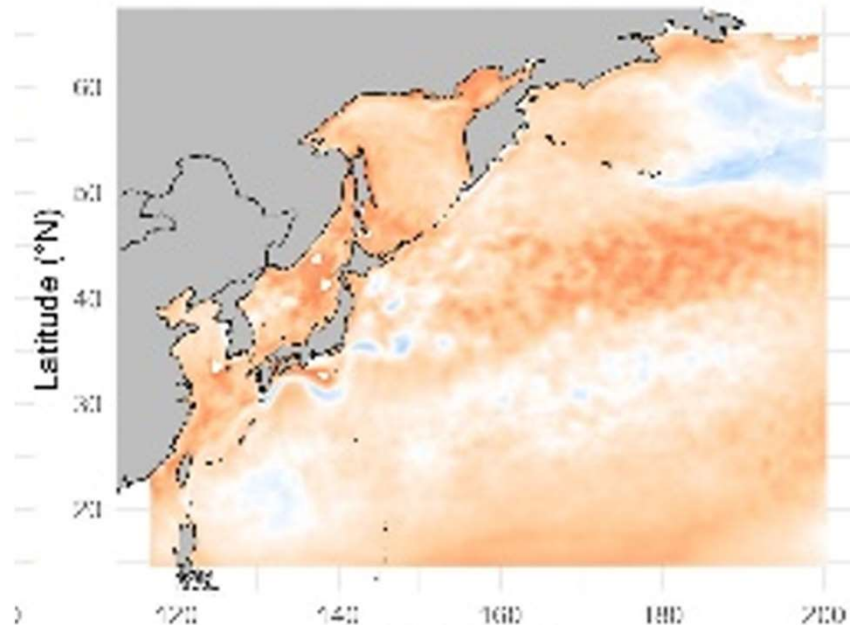


長期と短期の時系列で2010年代の低体重傾向は同じ。
体重減少トレンド 1980年代 < 2010年代
資源量 1980年代 > 2010年代と矛盾

表面水温と長期トレンドとの相関

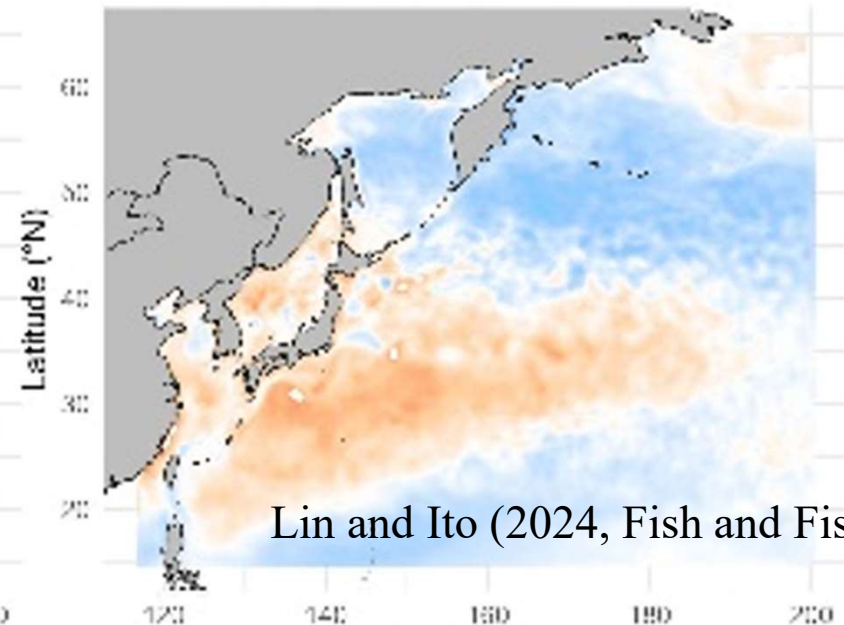
成魚トレンド1

Trend 1 (Mature) × T(0.5m)



成魚トレンド2

Trend 2 (Mature) × T(0.5m)

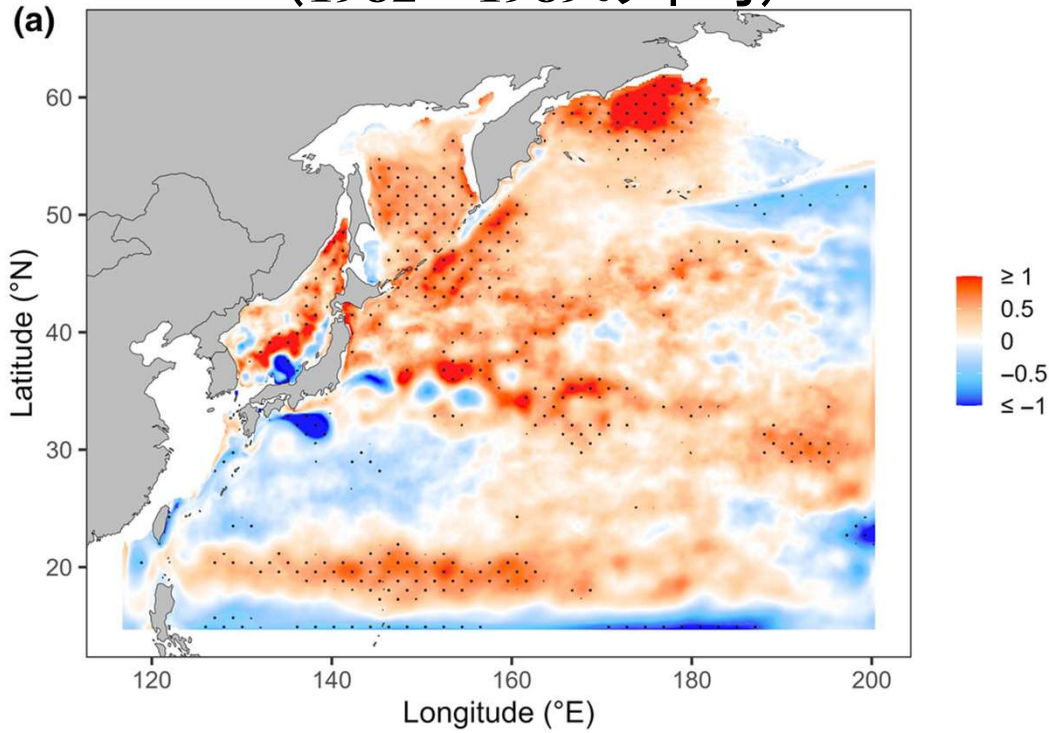


Lin and Ito (2024, Fish and Fisheries)

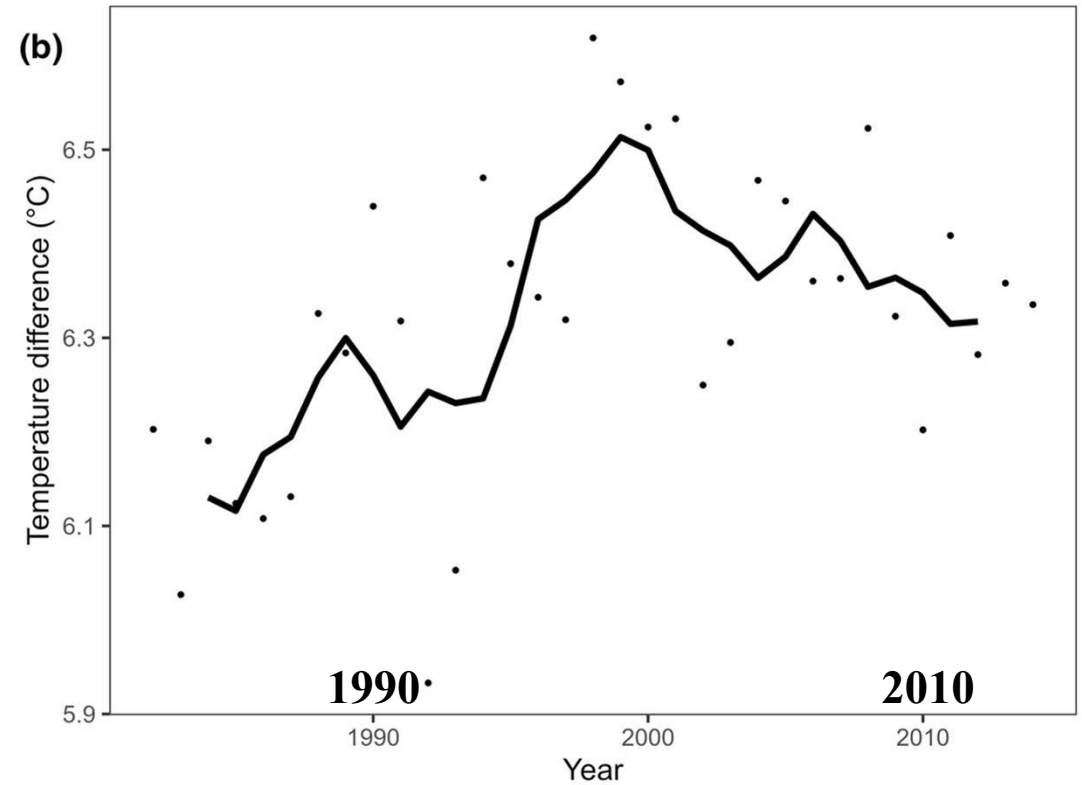
有意な相関を領域がほとんどない
日本周辺域はむしろ高水温で体重増加傾向
温度ーサイズ則と反対

海表層と下層(200m)の水温差

(2007~2014の平均)
- (1982~1989の平均)

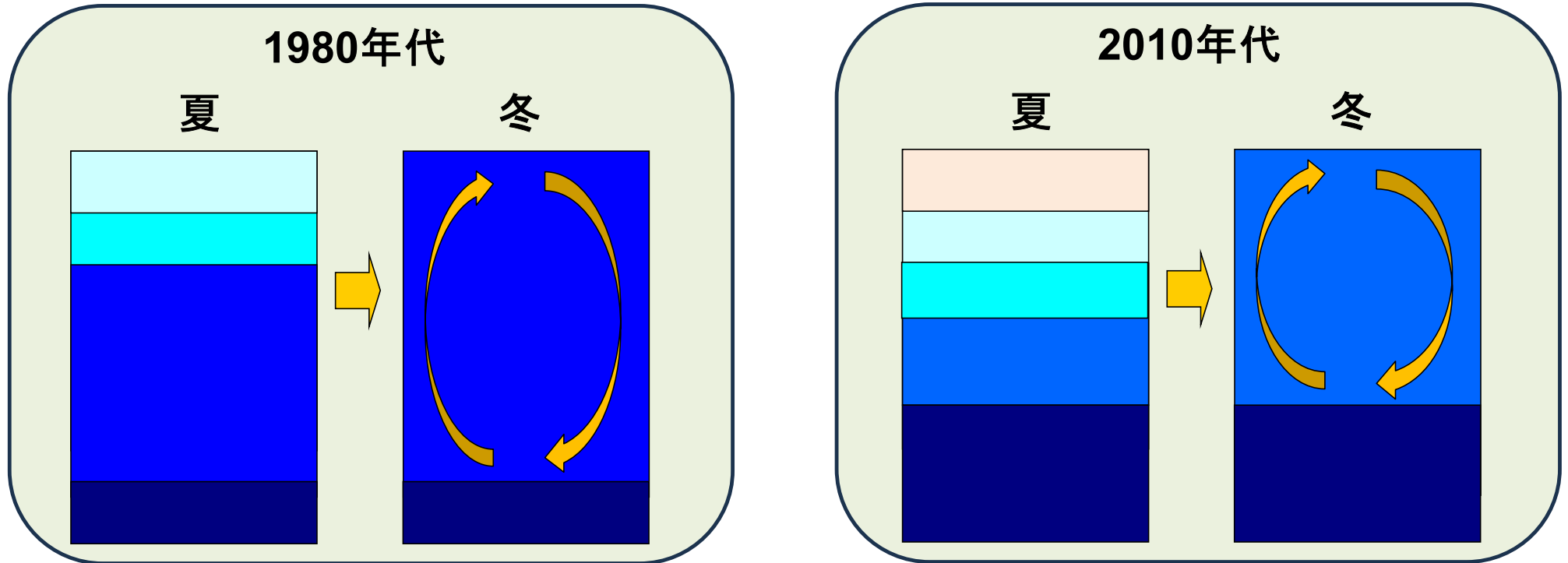


200m水温 - 海洋面水温



2000年代以降の海表面と下層との水温差が増大。

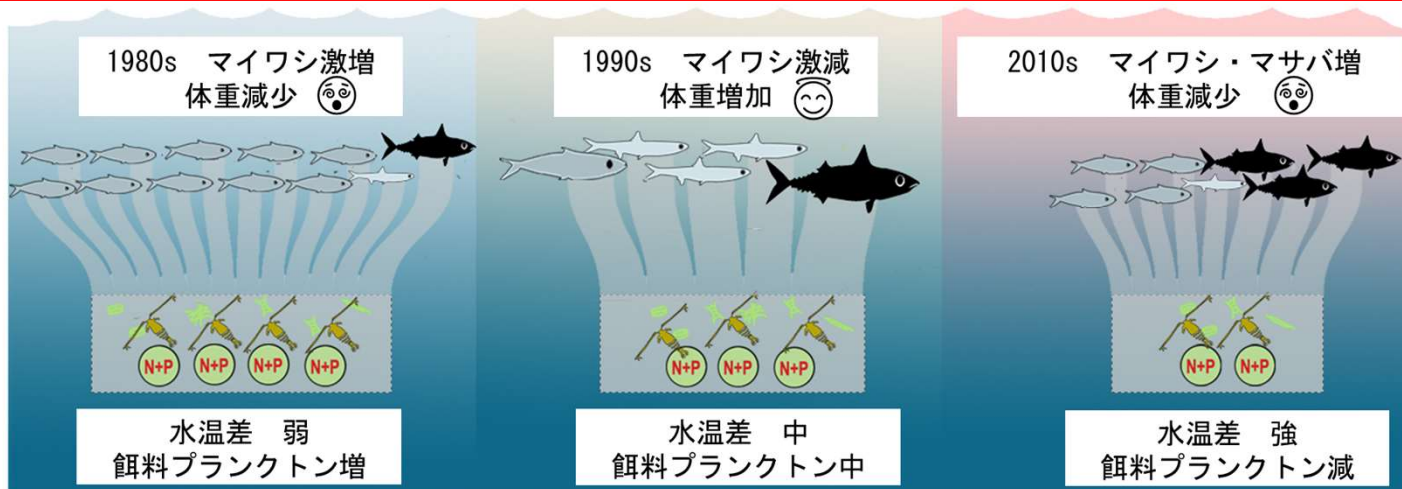
考察



表層と下層の水温差が増大(Li et al., 2020)
⇒下層から表層への栄養塩供給減少
⇒餌料プランクと生産減少

地球温暖化で魚の大きさは変わるの？

1. 日本周辺では、1980年代と2010年代に多くの魚類が小型化
2. 1980年代は、マイワシの増加によって餌料プランクトンをめぐり競争激化が原因(Tadokoro et al., 2005; Ito et al., 2007)
3. 2010年代は、表層と下層の水温差増大に起因する餌料プランクトン減少が、餌をめぐる競争を顕在化していることが示唆された



今後に向けて

1. 体長データが必要
体重データは餌の影響を過大評価しているかも
2. より多くの魚種でのデータ蓄積が重要
3. 餌生物、海洋環境などのモニタリングが重要
(水産庁, 水産研究・教育機構などのモニタリング)
4. 海洋生態系がこれまでより厳しい状況にあることを加味した生態系管理が必要

参考文献：Lin Z. and S. Ito (2024) Fish weight reduction in response to intra- and interspecies competition under climate change. *Fish and Fisheries*.
<https://doi.org/10.1111/faf.12818>