

水産資源の管理と評価

東京海洋大学 海洋生物資源学科

北門 利英 kitakado@kaiyodai.ac.jp

水産海洋概論 I (2023年5月17日)

自己紹介

- 教育学部出身で、元々の専門は数理統計学
- 現在の専門：水産資源解析学・水産資源管理学・統計学
- 研究対象種：
まぐろ類，サンマ，クジラ，アザラシ，トド，ウミガメ，熱帯ウナギ等
- 学部の主な担当授業科目
統計学(2年生)
生物資源モデリング(3年生)
生物資源解析学演習(3年生)
生物資源解析学実習(3年生)



ウェブサイト

<https://toshihidekitakado.github.io/KitakadoLab/index.html>

1. 水産資源とは
2. 水産生物の資源動態を表すモデル
3. 資源評価と管理の例
4. まとめ

水産生物の資源評価と管理：背景

水産資源

水産資源とは？

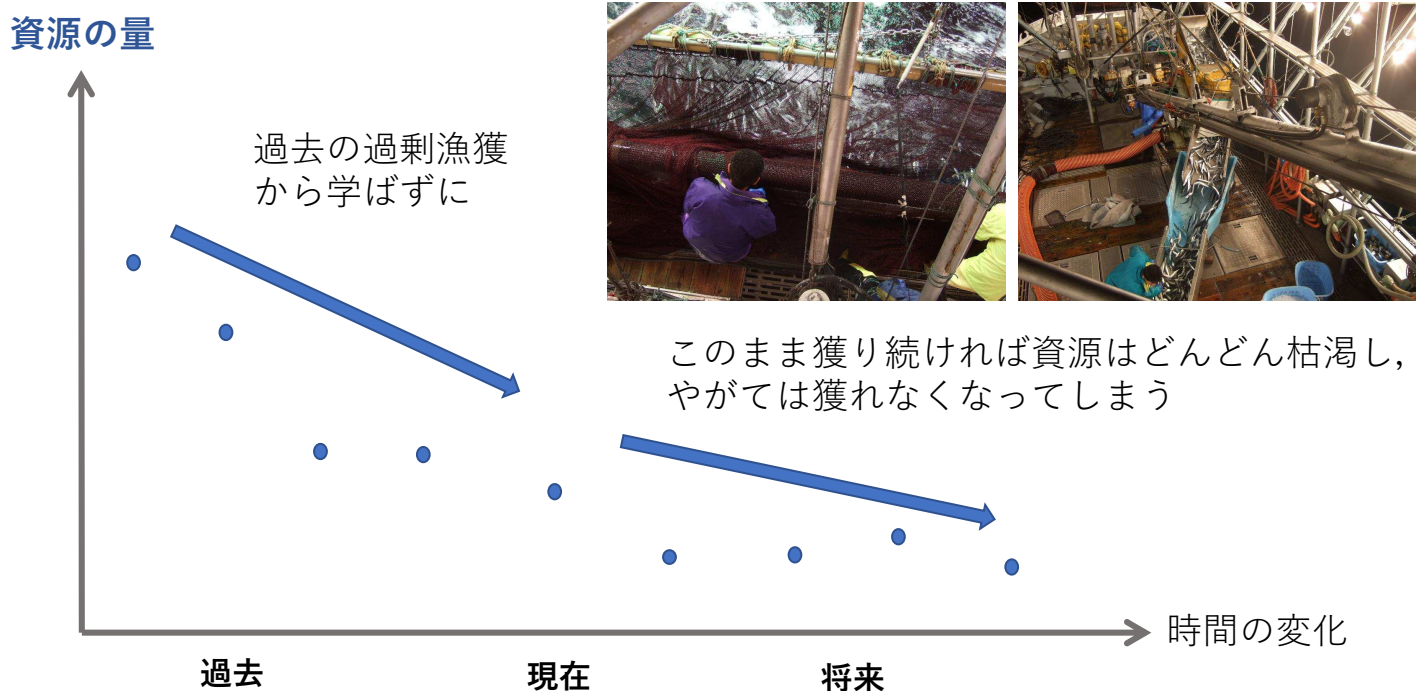
海洋，湖沼域，河川などに生息する生物資源

水産資源の特徴

- 自律更新性が非常に高い
- 無主物であることが多い
- 生態系に代表されるように，構造が複雑
- 直接観測できないことも多い
- …

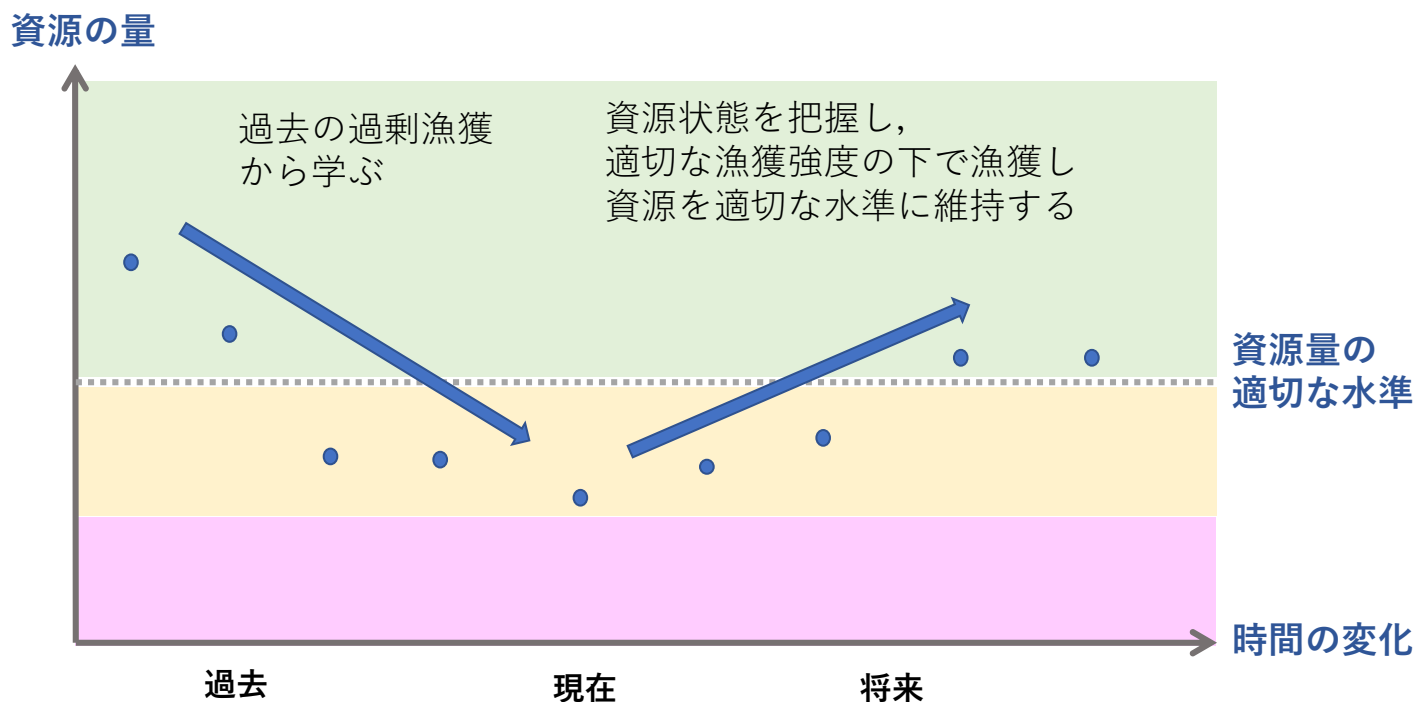
なぜ資源管理が必要か？

水産資源は陸上生物と比較して自律更新性が高いが
過剰漁獲を続ければ枯渇してしまう



なぜ資源管理が必要か？

資源を枯渇や絶滅させないために、漁業や調査のデータを利用し、現状の資源状態を正しく把握しつつ、資源を上手に利用していかねばなりません



国内の資源評価と管理

水産庁から委託を受け国立研究開発法人水産研究・教育機構が実施

<http://abchan.fra.go.jp/digests2020/index.html>

魚種	系群	簡易版	詳細版	
マイワシ	太平洋系群	○	2.6MB	
	対馬暖流系群	○	3.5MB	
マアジ	太平洋系群	○	1.7MB	
	対馬暖流系群	○	5.5MB	
マサバ	太平洋系群	○	2.5MB	
	対馬暖流系群	○	1.9MB	
ゴマサバ	太平洋系群	○	2.0MB	
	東シナ海系群	○	1.9MB	
スケトウダラ	日本海北部系群	○	3.1MB	
	根室海峡	○	0.7MB	
	オホーツク海南部	○	0.9MB	
	太平洋系群	○	3.3MB	
ズワイガニ	オホーツク海南部	○	1.0MB	
	太平洋北部系群	○	8.4MB	
	日本海系群	A海域（富山県以西）	○	3.8MB
		B海域（新潟県以北）	○	1.6MB
	北海道西部系群	○	1.1MB	
スルメイカ	冬季発生系群	○	2.9MB	
	秋季発生系群	○	2.8MB	
ホッケ	道北系群	○	2.6MB	

平成29年度資源評価報告書(ダイジェスト版)

標準和名 マアジ

学名 *Trachurus japonicus*

系群名 対馬暖流系群

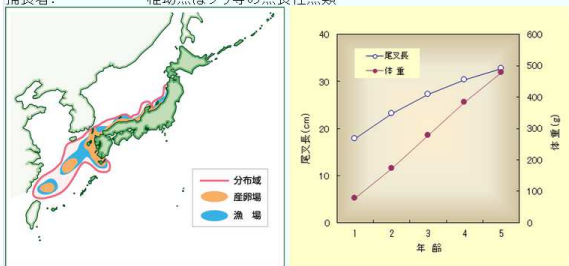
担当水研 西海区水産研究所



[Top](#) > [資源評価](#) > [平成29年度資源評価](#) > [ダイジェスト版](#)

生物学的特性

寿命: 5歳前後
 成熟開始年齢: 1歳(50%)、2歳(100%)
 産卵期・産卵場: 1~6月、南部ほど早い傾向があり、盛期は3~5月、東シナ海南部、九州・山陰沿岸~日本海北部沿岸
 食性: オキアミ類、アミ類、橈脚類等の動物プランクトン、小型魚類
 捕食者: 稚幼魚はブリ等の魚食性魚類



[▲このページのTOPへ](#)

平成 29 (2017) 年度マアジ対馬暖流系群の資源評価

責任担当水研: 西海区水産研究所 (依田真里、黒田啓行、佐々千由紀、高橋素光)

参画機関: 日本海区水産研究所、水産工学研究所、青森県産業技術センター水産総合研究所、秋田県水産振興センター、山形県水産試験場、新潟県水産海洋研究所、富山県農林水産総合技術センター水産研究所、石川県水産総合センター、福井県水産試験場、京都府農林水産技術センター海洋センター、兵庫県立農林水産総合技術センター但馬水産技術センター、鳥取県水産試験場、島根県水産技術センター、山口県水産研究センター、福岡県水産海洋技術センター、佐賀県玄海水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター

要 約

本系群の資源量について、資源量指標値を考慮したコホート解析により計算した。資源量は、1970年代後半に低水準だったが、1980~1990年代前半に増加し、1993~1998年には50万トンを超えた。その後、資源量は減少し、1999~2002年には30万~40万トンだったが、2003、2004年には増加し、再び50万トンを超えた。2005年以降は40万トン前後で推移している。親魚量については2010年以降20万トン前後で推移しており、Blimit(2001年の親魚量15万トン)を上回っており、資源水準は中位で、最近5年間(2012~2016年)の資源量の推移から、資源動向は増加と判断した。今後、再生産成功率(加入量+親魚量)が、不確実性の高い直近年(2016年)を除く最近10年間(2006~2015年)の中央値で継続した場合に、親魚量の増大(F30%SPR)、現状の漁獲量の維持(Fcurrent)及び親魚量の維持(Fmed)の各シナリオで期待される漁獲量を2018年ABCとして算定した。

国際資源の管理

国連海洋法条約

「高度回遊性魚類の国際機関による管理と最適利用」

その国際機関による管理とは??

国際捕鯨委員会 (IWC), マグロ (tuna RFMO), サンマ (NPFC)

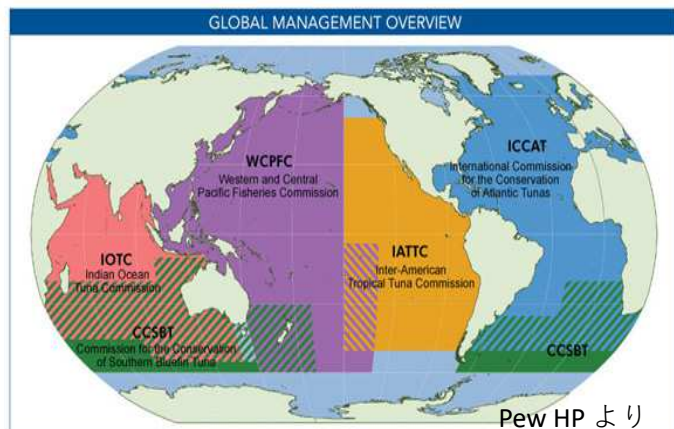


図 I-3-2 カツオ・マグロ類以外の資源を管理する主な地域漁業管理機関と対象水域



注: 我が国はSPRFMO及びNEAFCには未加盟

水産資源利用の歴史 (はえ縄漁業)

Rapid worldwide depletion of predatory fish communities

Ransom A. Myers & Boris Worm Nature 2003

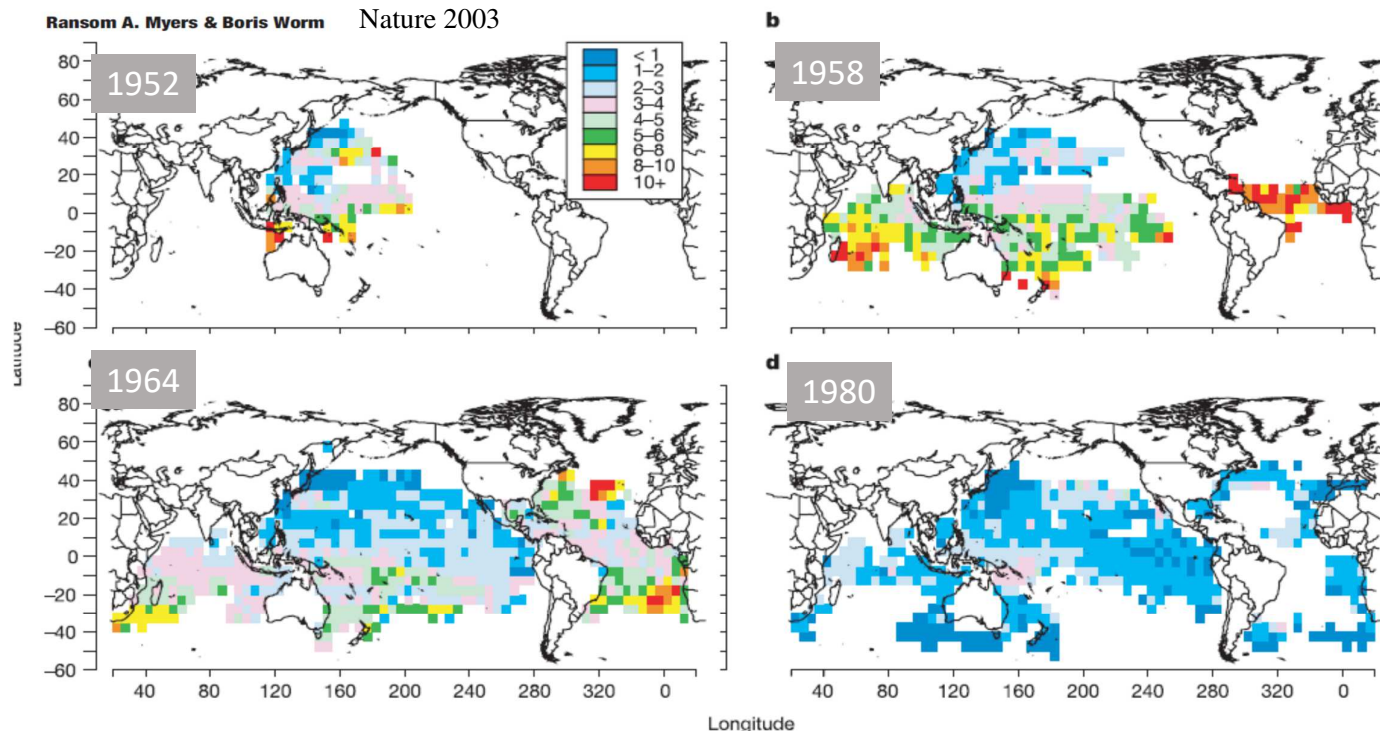


Figure 2 Spatial patterns of relative predator biomass in 1952 (a), 1958 (b), 1964 (c) and 1980 (d). Colour codes depict the number of fish caught per 100 hooks on pelagic longlines set by the Japanese fleet. Data are binned in a global $5^\circ \times 5^\circ$ grid. For complete year-by-year maps, refer to the Supplementary Information.

CPUE

CPUE = Catch per Unit Effort
単位努力量当たり漁獲量

例えば努力量を，漁船の操業日数とすると
漁獲量

- 操業日数が長いほどたくさん獲れる
- 資源量が大きいのほどたくさん獲れ

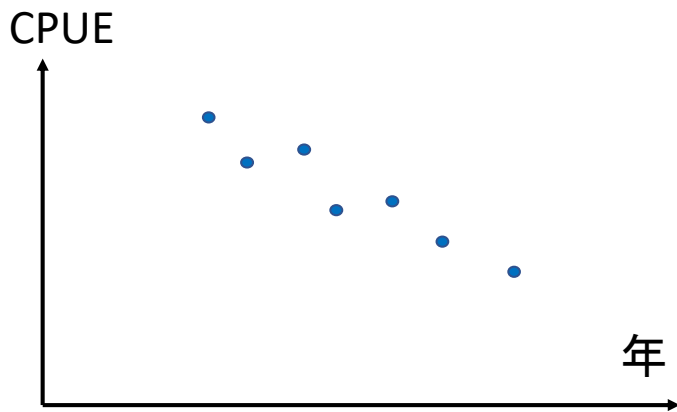
⇒ 関係を式で表すと

$$\text{漁獲量} \propto \text{操業日数(努力量)} \times \text{資源量} \quad \dots \textcircled{1}$$

すなわち

$$\text{CPUE} = \text{漁獲量}/\text{努力量} \propto \text{資源量} \quad \dots \textcircled{2}$$

資源管理で利用する情報



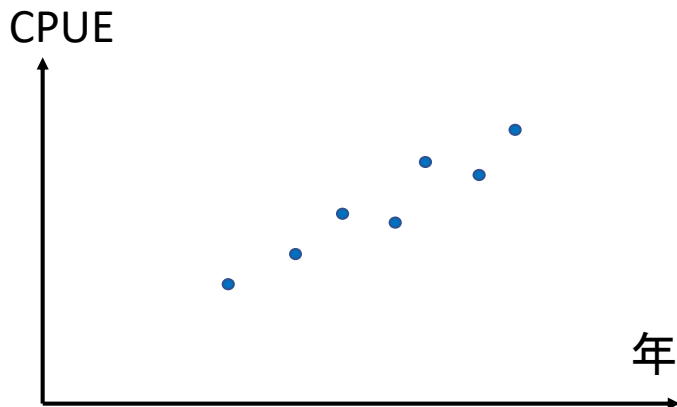
CPUE減少

⇒ 資源量が減少傾向

⇒ 漁獲量を削減する？

or

まだ資源量を減らしてよい？



CPUE増加

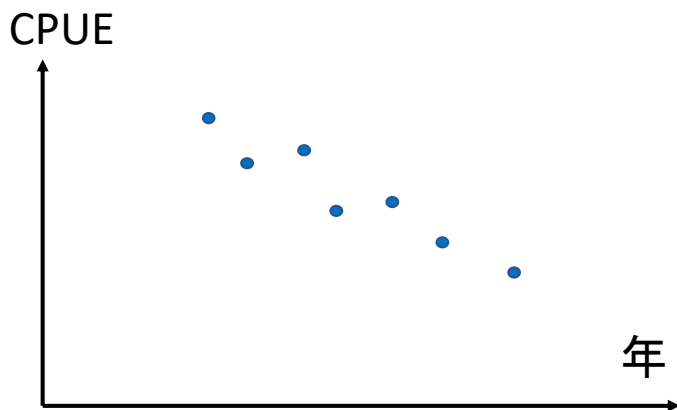
⇒ 資源量が増加傾向

⇒ 漁獲量を増やしてよい？

or

まだ回復途上？

資源管理で利用する情報



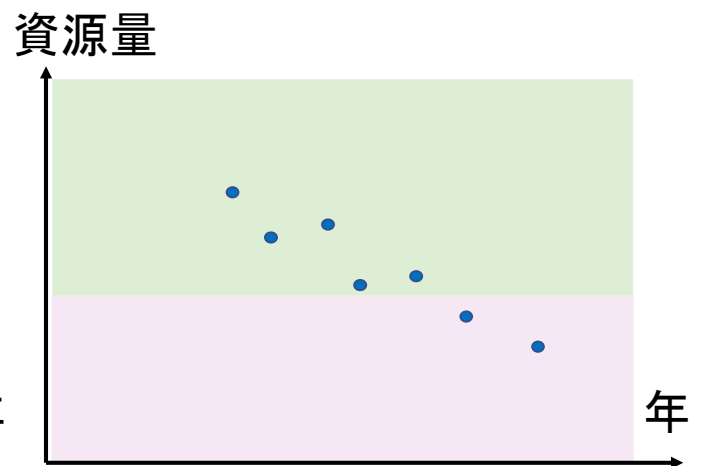
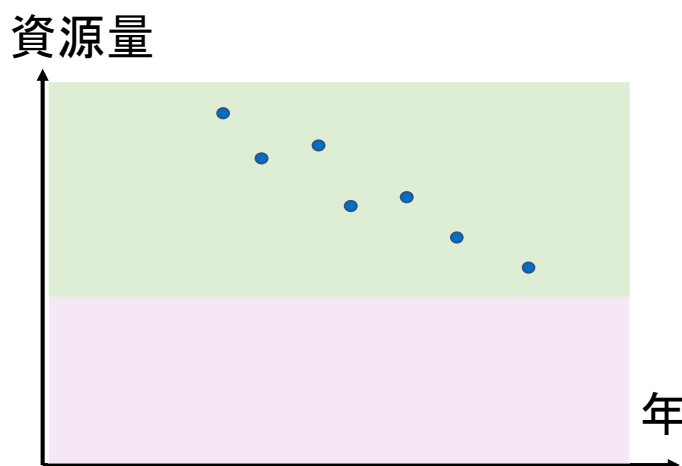
CPUE減少

⇒ 資源量が減少傾向

⇒ 漁獲量を削減する？

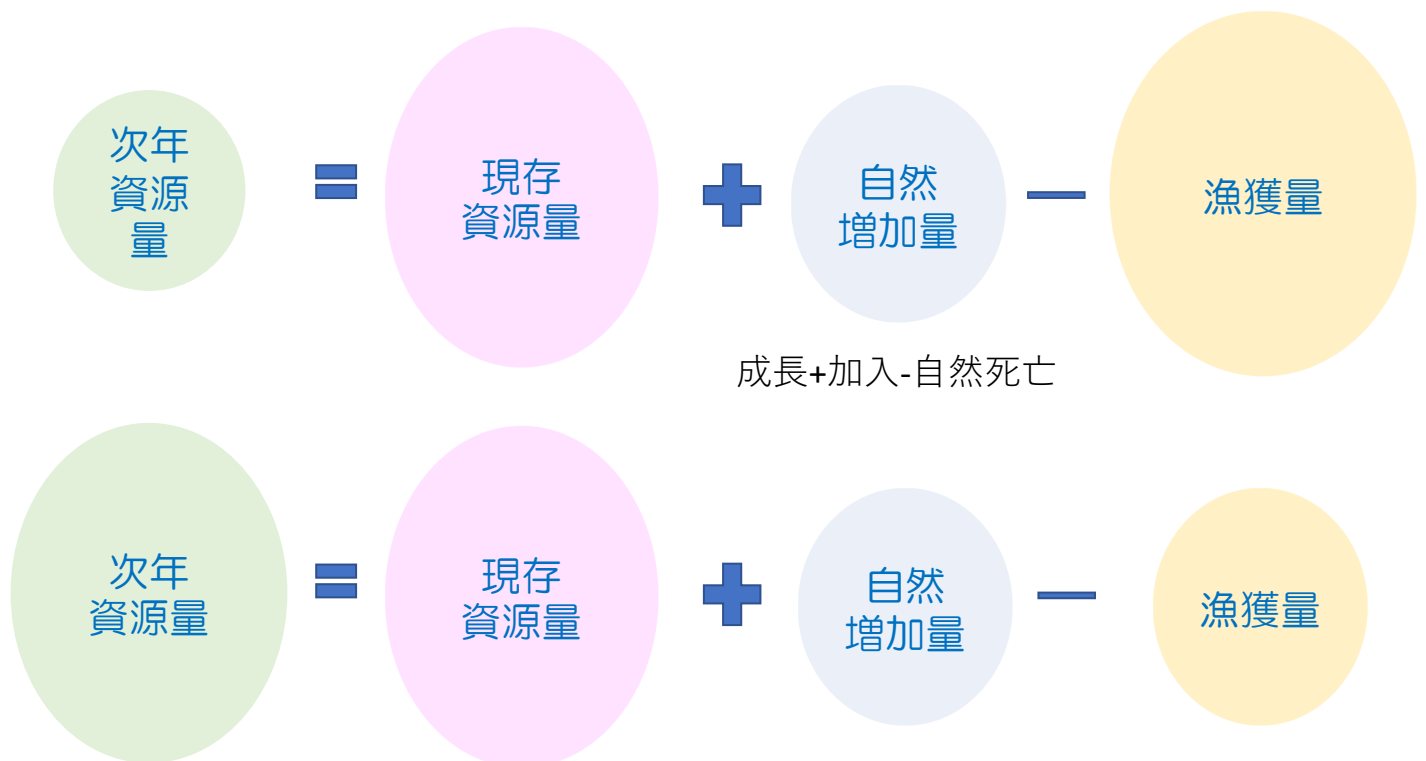
or

まだ資源量を減らしてよい？



資源動態を表現するモデル

資源量の変化



持続生産量とは

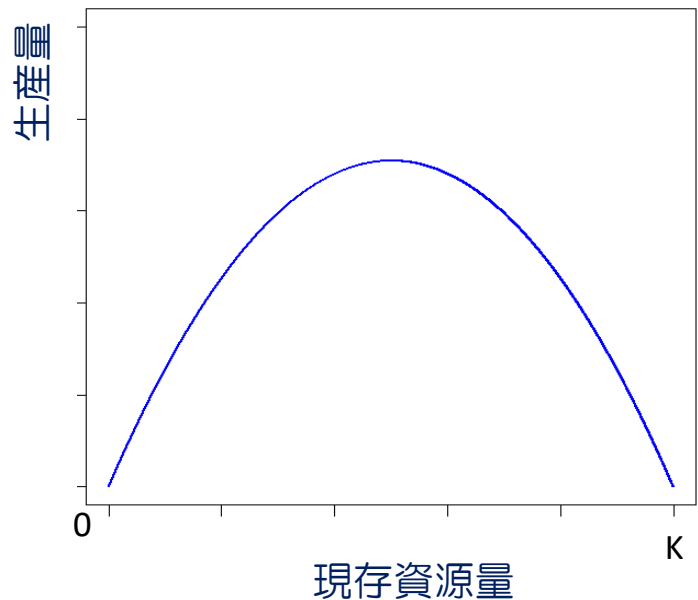
$$\text{次年資源量} = \text{現存資源量} + \text{生産量} - \text{漁獲量}$$

$$B_{t+1} = B_t + r B_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) - C_t$$

シェーファー型
余剰生産量モデル

内的自然増加率

環境収容力



持続生産量とは

$$\text{次年資源量} = \text{現存資源量} + \text{生産量} - \text{漁獲量}$$

$$B_{t+1} = B_t + r B_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) - C_t$$

シェーファー型
余剰生産量モデル

増えた分だけ取る ⇒ 資源の量を変化させない

(銀行預金で言うと、
利子で増えた分だけ使う)

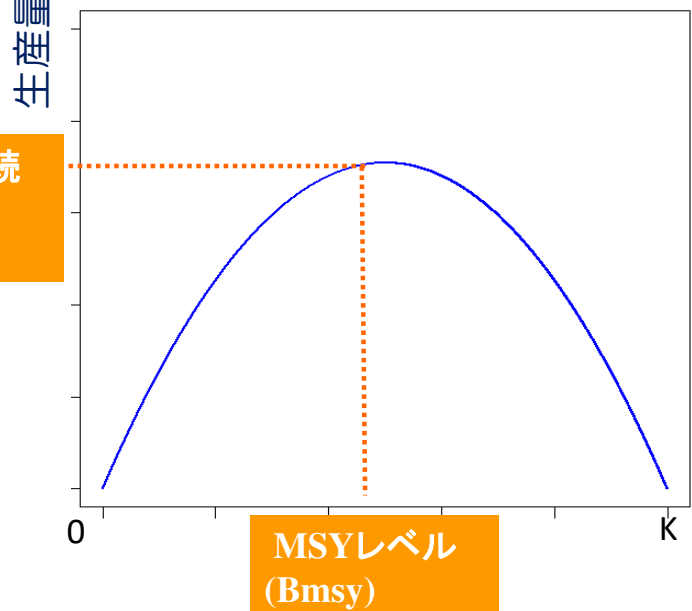
漁獲量

$$C_t = r B_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right)$$

$$\Rightarrow B_{t+1} = B_t$$

... ①

最大持続
生産量
(MSY)



持続生産量とは

MSY=Maximum Sustainable Yield (最大持続生産量)

Bmsy = MSY Level (MSYレベルの資源量)

MSYを達成するのは資源量が 生産量

$$B_{msy} = \boxed{}$$

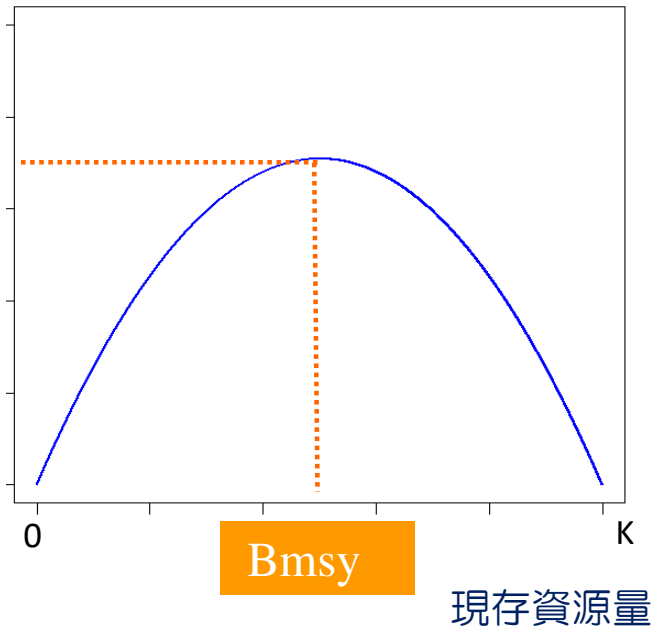
のとき。

また、この時のMSYは

$$MSY = \boxed{}$$

である。

MSY



CPUE

CPUE = Catch per Unit Effort
単位努力量当たりの漁獲量

漁獲量 \propto 努力量 \times 資源量

漁獲量 = 比例定数 \times 努力量 \times 資源量
(漁具能率)

漁獲強度

$$C = q \times E \times B$$

$$= F \times B$$

... ①

CPUE = Catch per Unit Effort
 単位努力量当たりの漁獲量

漁獲量 \propto 努力量 \times 資源量

漁獲量 = 比例定数 \times 努力量 \times 資源量
 (漁具能率)

$$MSY = rK / 4$$

$$= \boxed{} \times \boxed{K / 2}$$

$$= \boxed{Fmsy} \times \boxed{Bmsy}$$

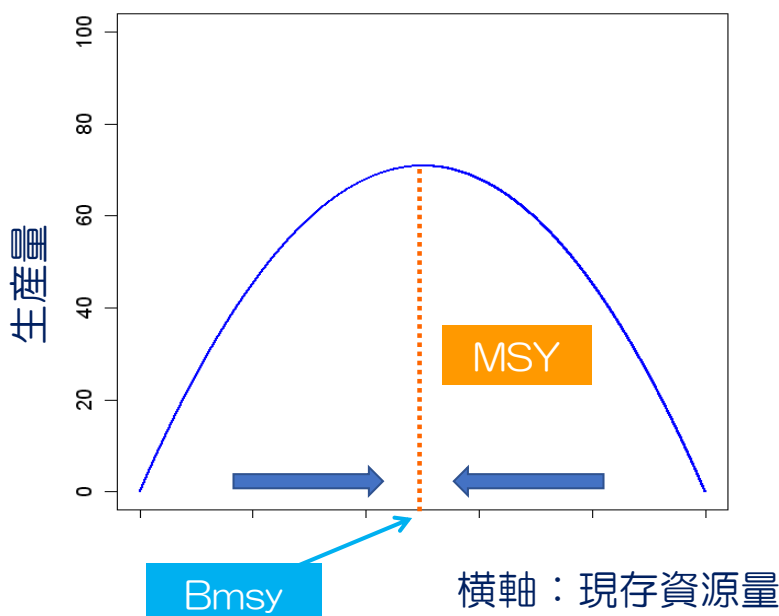
漁獲強度

$$Fmsy = \boxed{}$$

資源動態モデルとは？

次年資源量 = 現存資源量 + 生産量 - 漁獲量

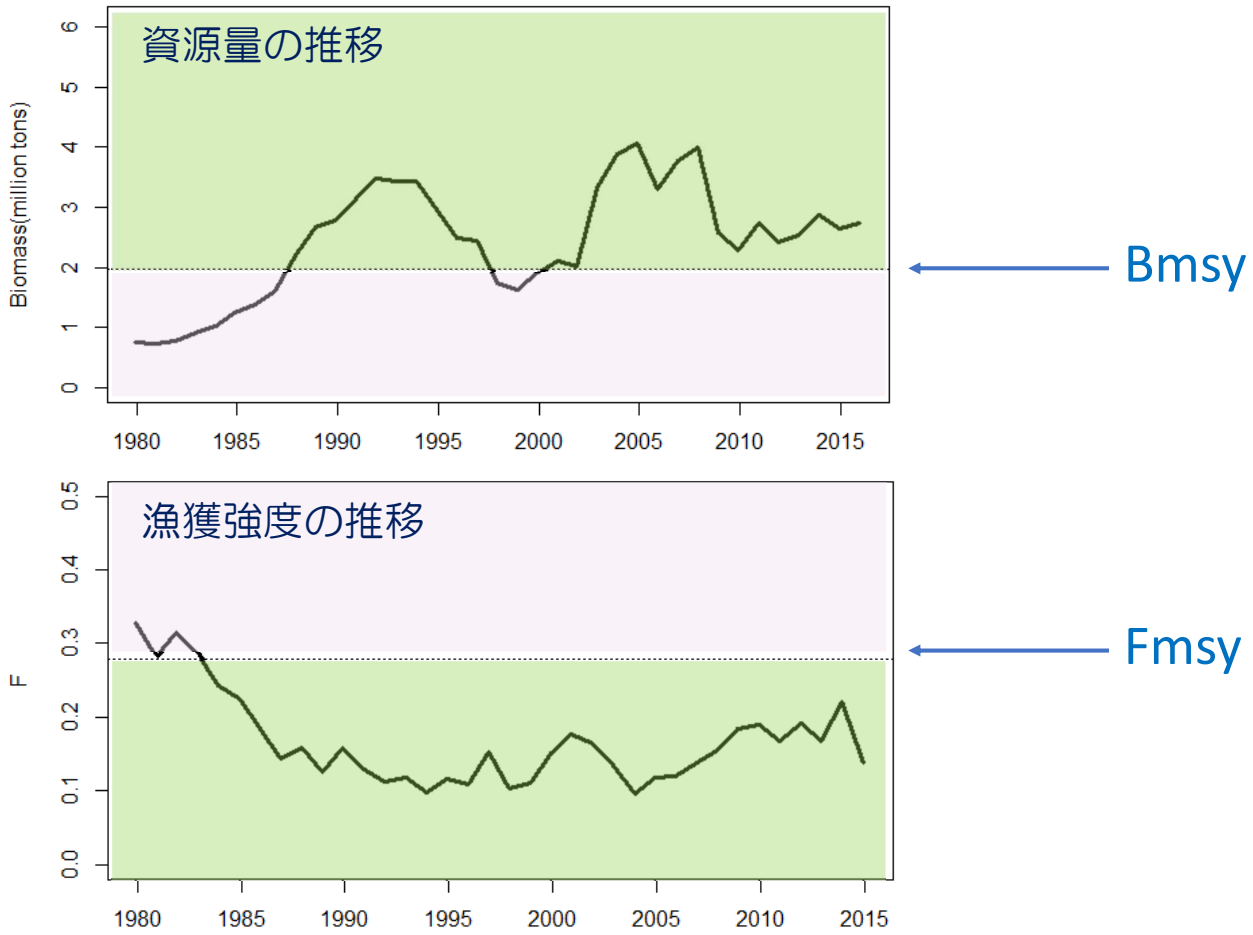
$$B_{t+1} = B_t + r B_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) - C_t$$



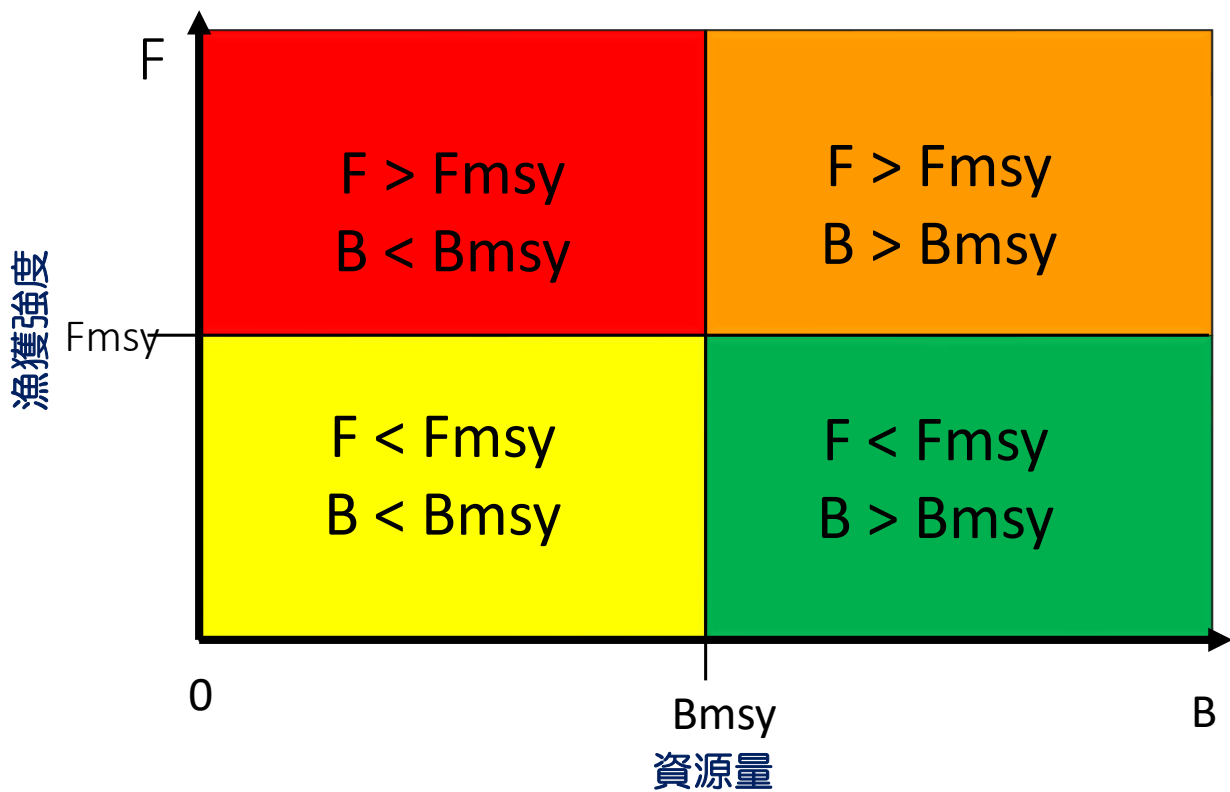
$$Bmsy = \frac{K}{2}$$

$$Fmsy = \frac{r}{2}$$

資源動態モデルの推定と資源評価

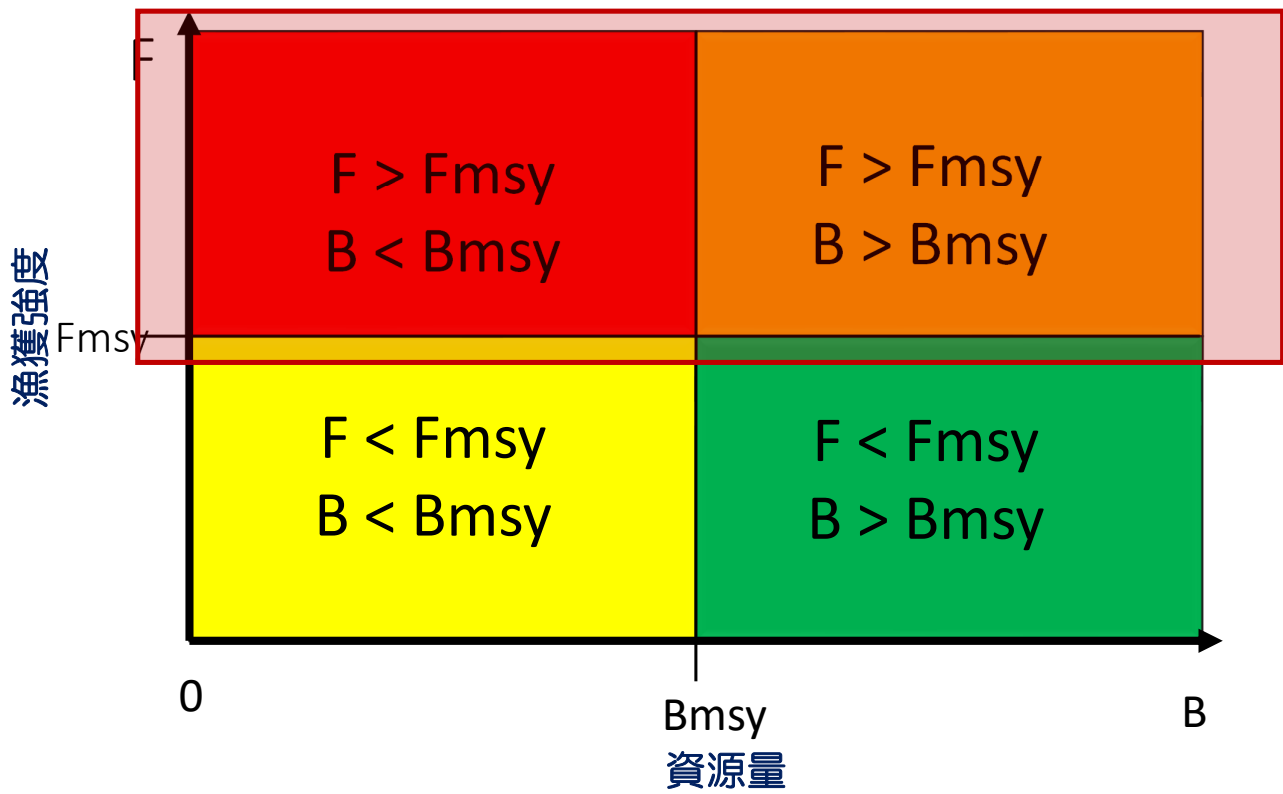


KOBEプロット



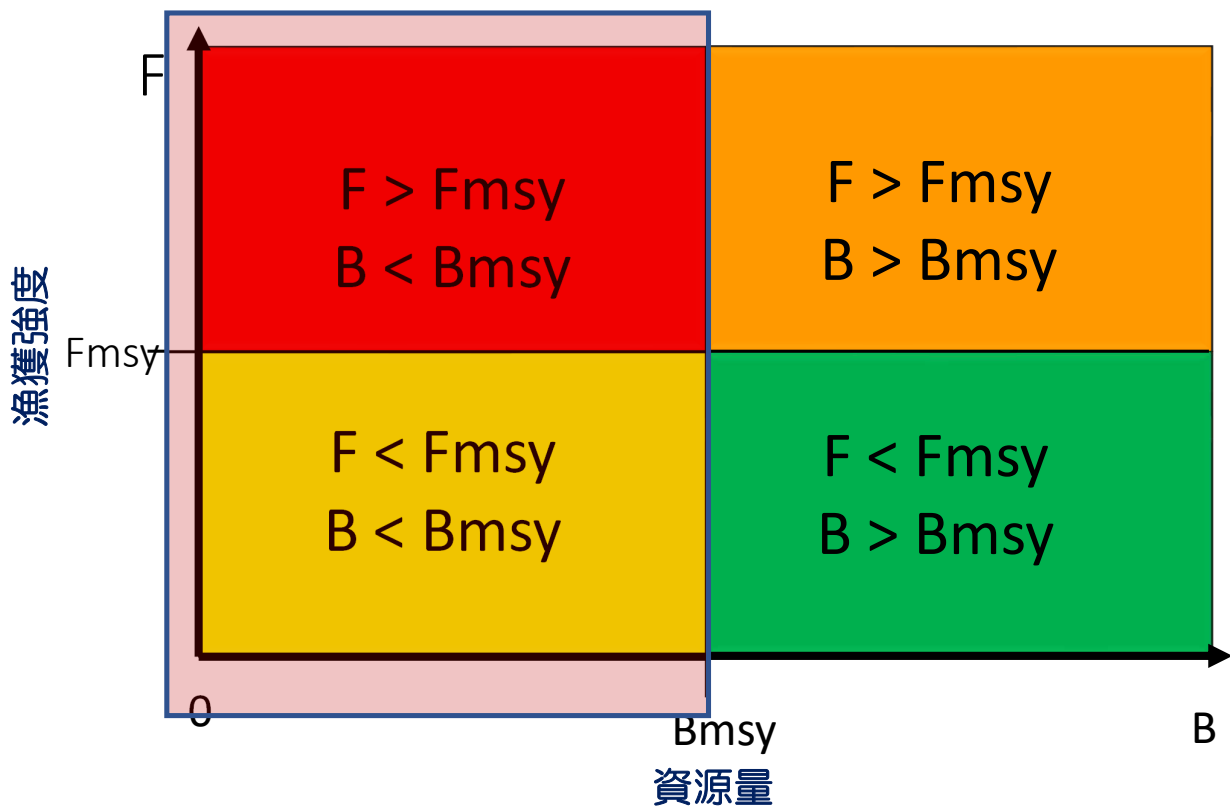
KOBEプロット

Overfishing

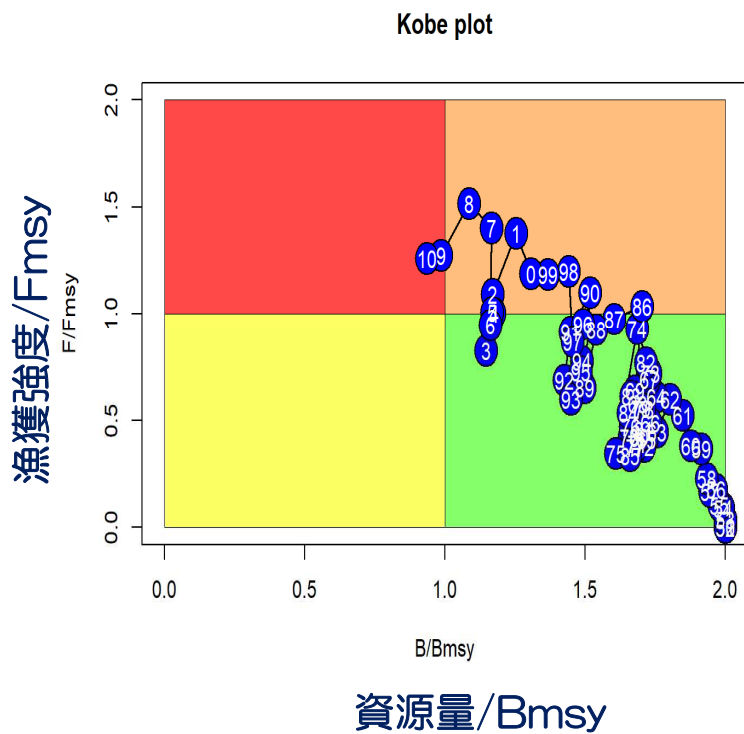
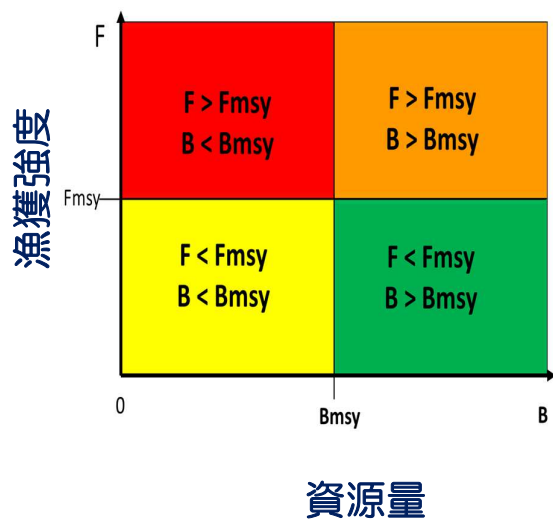


KOBEプロット

Overfished

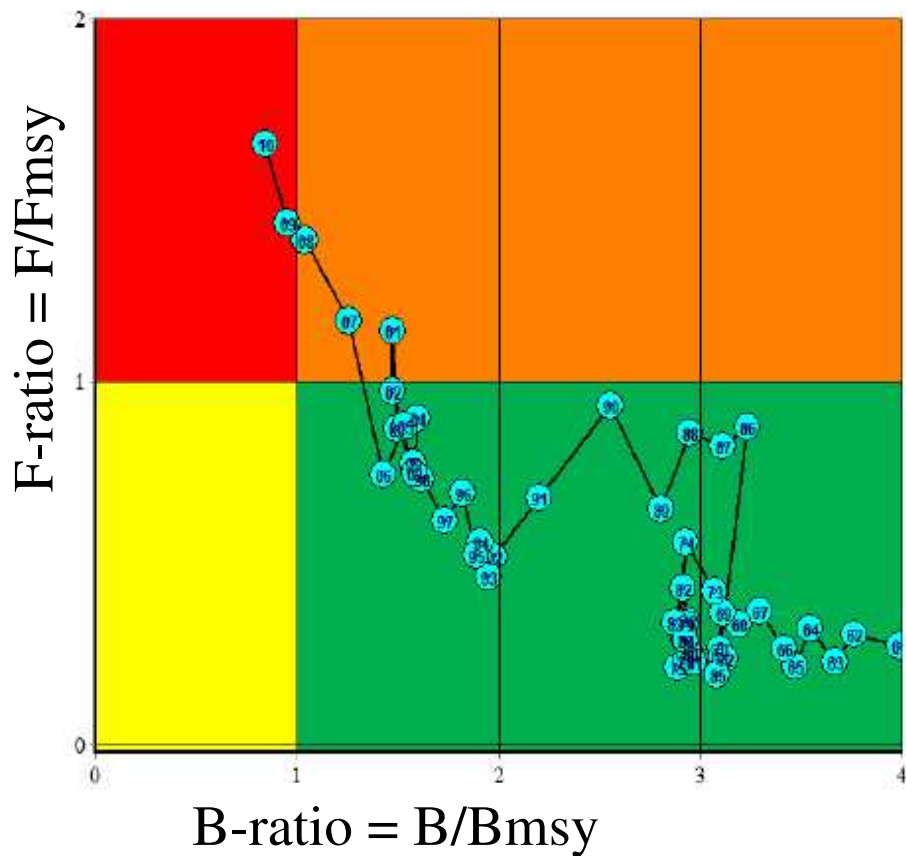


Kobe plot

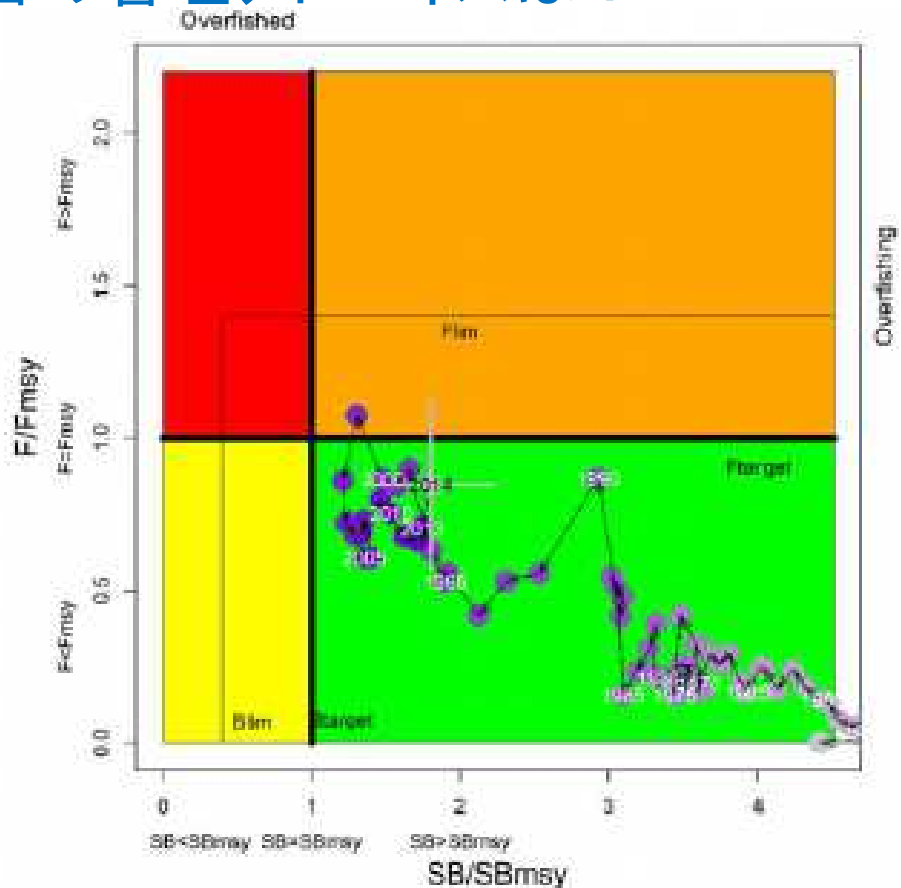


KOBEプロットの例

この場合の管理アドバイスは？



この場合の管理アドバイスは？



資源評価のモデル

Age \ Year	1	2	...	y	y+1	...	Y
0							
1							
...							
a							
a+1							
...							
A							

年齢構造モデル

$N_{a,y} \rightarrow N_{a+1,y+1}$

Age \ Year	1	2	...	y	y+1	...	Y
0							
1							
...							
a							
a+1							
...							
A							

ステージモデル

Age \ Year	1	2	...	y	y+1	...	Y
0							
1							
...							
a							
a+1							
...							
A							

ディレイディファレンスモデル

Age \ Year	1	2	...	y	y+1	...	Y
0							
1							
...							
a							
a+1							
...							
A							

今回のモデルは年齢構造を考えていない

数理モデリングとは(演繹的推論)

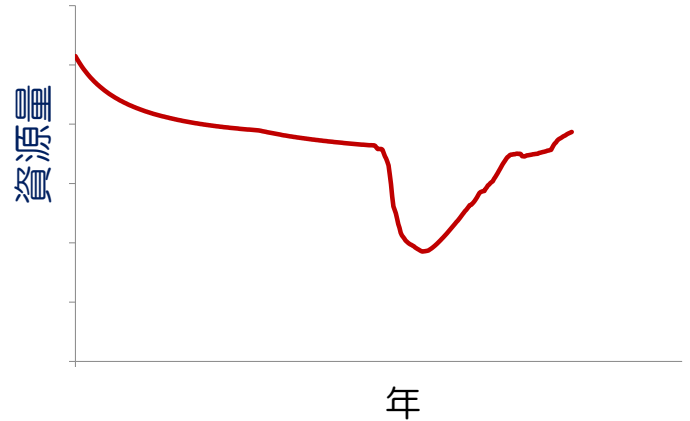
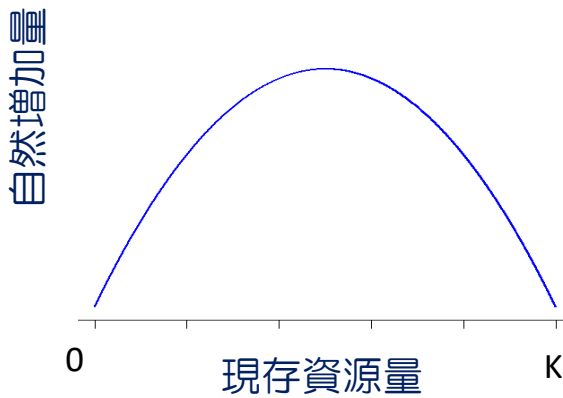
$$\text{次年資源量} = \text{現存資源量} + \text{自然増加量} - \text{漁獲量}$$

$$P_{t+1} = P_t + rP_t \left(1 - \frac{P_t}{K}\right) - C_t$$

資源量の変化を表す漸化式

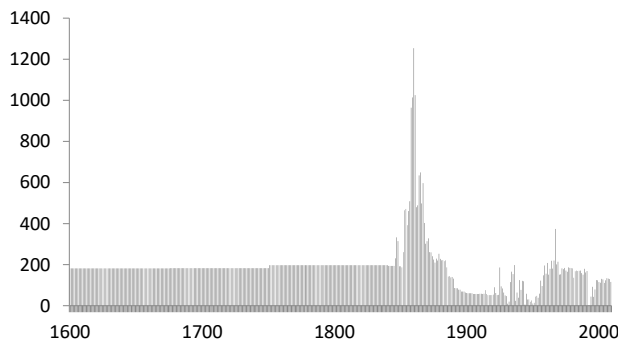
内的自然増加率

環境収容力



観測データ

コククジラ太平洋東系群の捕獲統計



最尤推定法によるパラメータ推定

$$\log \hat{P}_t \sim N(\log P_t, \hat{\tau}_t^2)$$

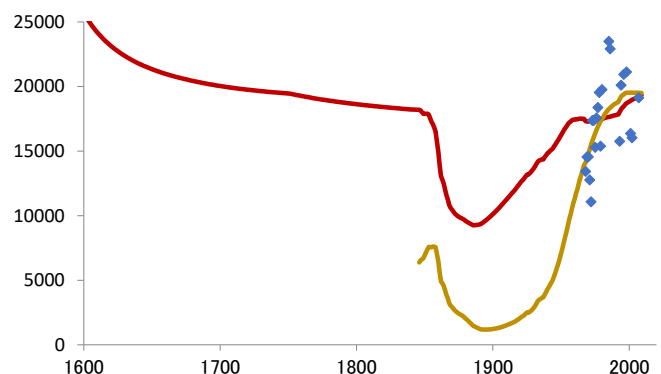
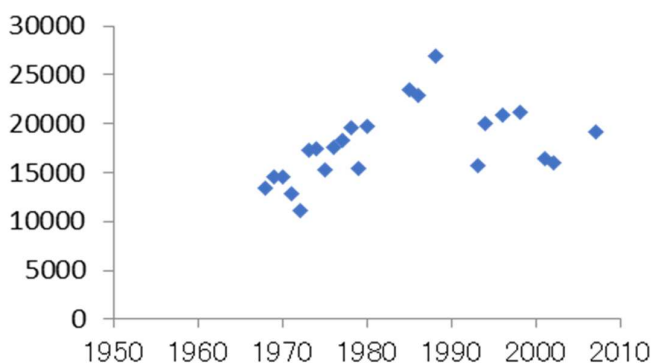
$$P_{t+1} = P_t + rP_t \left(1 - \left(\frac{P_t}{K}\right)^z\right) - C_t$$

Loglikelihood

$$= -\frac{1}{2} \sum_t \log(2\pi\hat{\tau}_t^2) - \sum_t \frac{(\log \hat{P}_t - \log P_t)^2}{2\hat{\tau}_t^2}$$

=> Max

近年の調査による資源量推定値

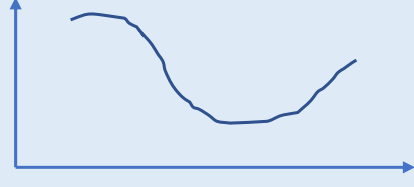


統計的モデリング（演繹と帰納の融合）

演繹的推論

- 数理モデリング
- 仮定, 前提
- 理論的な順推論

真の資源動態(未知)

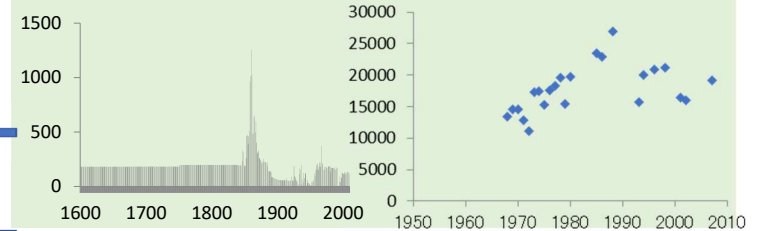


帰納的推論

- 観測された事実から原因やメカニズムを探る逆推論

次年資源量 = 現存資源量 + 自然増加量 - 漁獲量

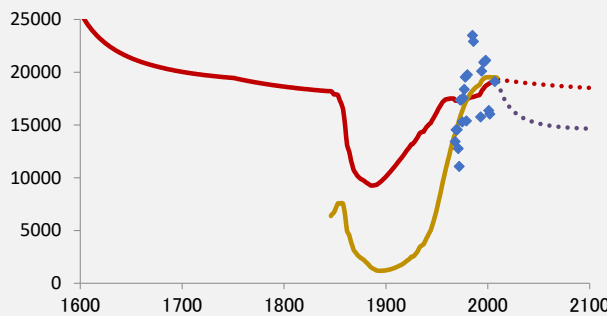
$$P_{t+1} = P_t + rP_t \left(1 - \left(\frac{P_t}{K} \right)^z \right) - C_t$$



$$\log \hat{P}_t \sim N(\log P_t, \hat{\sigma}_t^2)$$

Loglikelihood

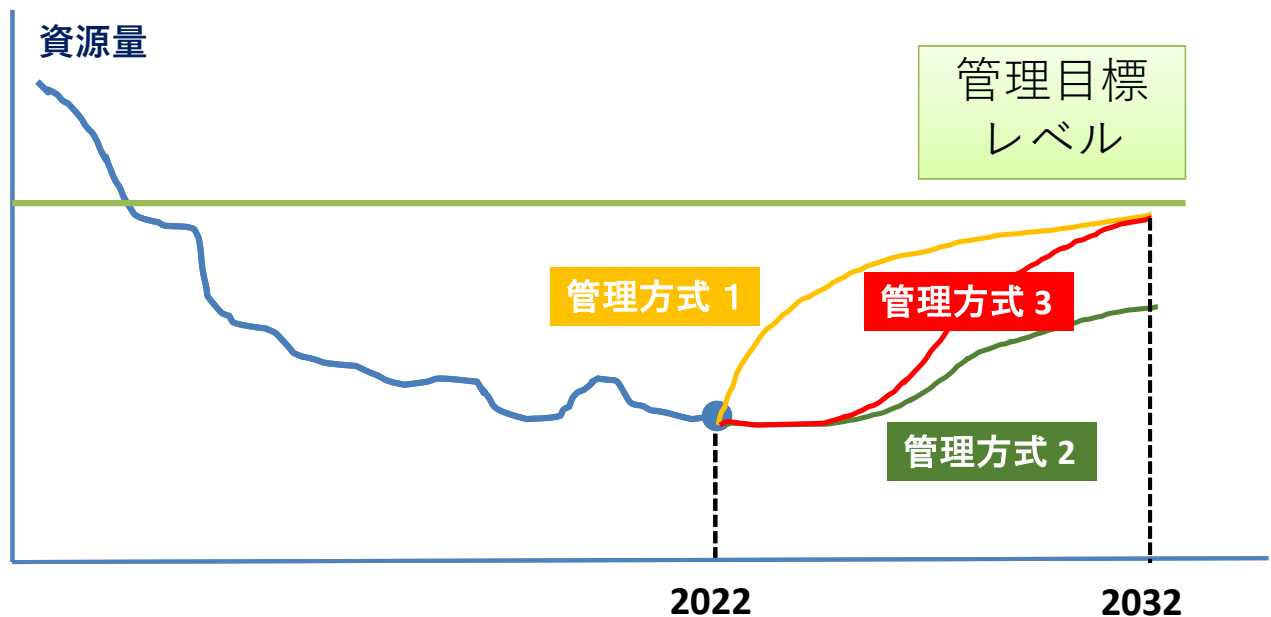
$$= -\frac{1}{2} \sum_t \log(2\pi \hat{\sigma}_t^2) - \sum_t \frac{(\log \hat{P}_t - \log P_t)^2}{2\hat{\sigma}_t^2} \Rightarrow \text{Max}$$



統計的モデリング

- 演繹と帰納の融合
- パラメータの推定
- モデルの検証と選択

資源管理のシミュレーション



1. 急な漁獲制限は漁業者には×
2. 目標が達成できないことも×
3. 予期せぬ資源変動にも臨機応変に対応
(予め一定の漁獲量とするのはその点で柔軟性がなく×)

シミュレーションのデモンストレーション

The screenshot displays the RStudio interface with the source code for the MSE_shiny_2022_Yumenavi application. The code defines a Shiny application with a histogram and several input controls. The console shows the R version (3.6.3), copyright information, and the application's URL (http://127.0.0.1:4044).

```
1 library(shiny)
2
3 # Define UI for application that draws a histogram
4 ui <- fluidPage(
5
6   tabPanel("Home",
7     h3("夢ナビ簡易版 資源管理シミュレーション")
8   ),
9
10  ## First line
11  fluidRow(
12
13    column(2, wellPanel(
14      h4("資源仮想モデルの仕様"),
15      numericInput(inputId = "dinitial", label = "現在の枯渇レベル:", value = 0.25, step=0.05, min=0.1, max=0.9),
16      numericInput(inputId = "r", label = "内的自然増加率 (r):", value = 1, step=0.01, min=0.01, max=1),
17      numericInput(inputId = "K", label = "環境収容力 (K):", value = 250, step=1000),
18      numericInput(inputId = "z", label = "形状パラメータ (z):", value = 0.7, step=0.1, min=0.1, max=3),
19    )),
20
21    column(2, wellPanel(
22      h4("管理期間などの設定"),
23      numericInput(inputId = "Nyear", label = "管理期間:", value = 10, step=1, width = "50%"),
24      numericInput(inputId = "Nsim", label = "シミュレーション繰り返しの回数:",
25        value = 500, max=1000, step=100, width = "50%"),
26      numericInput(inputId = "estcv", label = "資源量評価の精度 (CV):", value = 0.2, step=0.05, min=0, max=0.5),
27      numericInput(inputId = "ProCV", label = "自然変動の大きさ (tau):", value = 0.2, step=0.01, min=0, max=0.2),
28      submitButton("Run")
29    )),
30
31    column(2, wellPanel(
32      h4("管理方式の設定"),
33      sliderInput(inputId = "LRP", label = "禁漁資源レベル:", value = 0, step=0.05, min=0, max=1),
34      sliderInput(inputId = "TRP", label = "目標資源レベル:", value = 1, step=0.05, min=0, max=2),
35      sliderInput(inputId = "bb", label = "安全係数:", value = 1, step=0.05, min=0, max=2),
36      sliderInput(inputId = "MaxChange", label = "漁獲量最大変動 (%)", value = 30, step = 5, min = 0, max = 100)
37    ))
38  )
39
40 server <- function(input, output, session) {
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
```

シミュレーションのデモンストレーション

The screenshot displays the Shiny application interface for the MSE_shiny_2022_Yumenavi simulation. The interface is divided into several panels:

- Resource Hypothesis Model Parameters:** Includes sliders for current depletion level (0.25), intrinsic growth rate (1), carrying capacity (250), and shape parameter (0.7).
- Management Period Settings:** Includes a slider for management period (10) and a numeric input for simulation repetition count (500).
- Management Method Settings:** Includes sliders for maximum harvest level (0), target resource level (1), safety factor (1), and maximum harvest change percentage (30%).
- Resource Evaluation Precision (CV):** Includes a numeric input for CV (0.2).
- Natural Variation Size (tau):** Includes a numeric input for tau (0.2).
- HCR Plot:** A line graph showing Fishing Intensity vs. B-ratio. The intensity increases linearly until B-ratio reaches 1.0, then levels off. A vertical dashed green line is at B-ratio = 1.0.
- Depletion level (資源量/環境収容力):** A line graph showing depletion level over time (2022-2032). The level starts at 0.25 and fluctuates around a mean of approximately 0.5.
- B-ratio (資源量/最適資源量):** A line graph showing B-ratio over time. The ratio starts at 0.25 and fluctuates around a mean of approximately 1.0.
- 漁獲量 (Harvest):** A line graph showing harvest over time. The harvest starts at 0 and fluctuates around a mean of approximately 0.5.
- F-ratio (漁獲強度比):** A line graph showing F-ratio over time. The ratio starts at 0 and fluctuates around a mean of approximately 1.0.
- B-ratio vs. F-ratio Scatter Plot:** A scatter plot showing the relationship between B-ratio and F-ratio. The plot is divided into four quadrants: top-left (orange), top-right (yellow), bottom-left (yellow), and bottom-right (green). The data points are clustered in the bottom-right quadrant.

1. 資源評価：資源の状態を量的に把握すること
2. 資源管理：資源評価の結果や将来予測を基に資源を枯渇させることなく最適な漁獲量設定を行っていくこと
3. CPUE
4. シェーファー型余剰生産モデル
5. 内的自然増加率，環境収容力
6. 持続生産量
7. 最大持続生産量（MSY）
8. 最大持続生産レベル（Bmsy）
9. 最大持続生産レベルの漁獲強度（Fmsy）
10. Overfishing, Overfished
11. KOBEプロット

Webサイト



NEW 典拠数を取り入れてモデルを強化

夢ナビ講義Video 30min

水産資源の持続的利用を創造するデータサイエンス

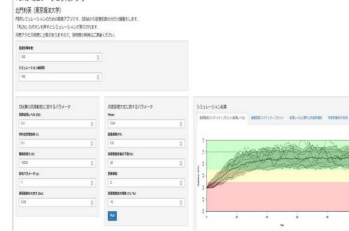
水産資源を枯渇させず持続的に利用できるか？環境や生態系の変化に強い資源管理方法は？これらに答えるべく、データや統計学の手法を駆使してオーダーメイドの資源動態モデルを作り、仮想漁業のシミュレーションを通してよりよい管理方法を探ります。

海洋生命科学部
海洋生物資源学科 教授
北門 利英 先生



Tools

PBR資源管理シミュレーション
https://kitakado.shinyapps.io/PBR_shiny/
PBRシミュレーションアプリ



資源管理方策評価シミュレーション
https://kitakado.shinyapps.io/MSE_shiny_2021/



授業スライド
(抜粋)

