

総個体数と問題個体数に基づくエゾヒグマ の順応的管理モデル ver.805b



松田裕之¹・（榎朗²・間野勉³・釣賀一二三³・Jusup Marko⁴＝議論前）

詳細は<https://ecorisk.web.fc2.com/2024/bear-liTOzu2ipL.html> ↑

- 水産資源管理では順応的管理戦略を複数定め、個体群動態モデルを用いて管理性能を評価し、よりよいものを選ぶ。野生動物管理でも道東エゾシカ管理計画で実施した（Matsuda et al. 1999 Pop. Ecol.）。
- 提案するクマ管理は問題個体を優先して捕獲する点でシカの個体群管理とは異なる。問題個体数は重要な管理指標であり、それに基づき措置を変え（北海道管理検討会）、管理手段でもある。
- 非問題個体から問題個体への「変心率」が自然増加率より高ければ、問題個体を除去し続ける限り、個体群は存続できない。
- 総個体数が多ければ、大量出没年に問題個体が多数供給される。個体数調整を併用するほうが問題個体数を抑制できる。
- 他方、個体数推定の不確実性が高いために、個体数調整は絶滅リスクや激減リスクを生む。それを減らすには、個体数水準を定性的に判断する期中改定が必要。（特に初期の10年間）
- 錯誤捕獲率、変心率、個体数推定誤差は低いほど良い。
- 最初の10年間は、5年ごとの個体数推定が望ましい。

現状だけでなく、将来も踏まえた長期戦略を合意すべき

zone別phase別捕獲対象（私案） 松田ら個体群生態学会2024年秋

		問題個体数が	
		多い	少ない
現在 個体数が	少ない	被害が続き熊絶滅も危惧される・人間活動規制	不適切な関係を戒め続け、キムンカムイを守る
	多い	ウエンカムイを駆除、早急に変心率低下措置を	最も望ましい状態

	Phase 1 個体数多、問題個体数少	Phase 2 個体数多、問題個体数多	Phase 3 個体数少、問題個体数少	Phase 4 個体数少、問題個体数多
排除地域	すべて捕獲(侵入防止を徹底)	すべて捕獲(侵入防止を徹底)	すべて捕獲(侵入防止を徹底)	すべて捕獲(侵入防止を徹底)
防除地域	すべて捕獲	すべて捕獲	段階1.5以上は学習放獣または必要に応じ捕獲(増加措置または保護措置)	すべて学習放獣または必要に応じ捕獲(増加措置または保護措置)
緩衝地帯	個体数調整(減少措置)、ただし段階1.5以上すべて捕獲	< すべて捕獲 >	段階1.5以上は学習放獣または必要に応じ捕獲(増加措置または保護措置)	同上。加えて域外飼育及び立入制限等害獣化を防ぐ措置
核心生息地	問題個体段階2以上すべて捕獲	問題個体1.5以上捕獲(減少措置)。段階2以上すべて捕獲	段階2以上は学習放獣または域外飼育	同上。加えて域外飼育及び立入制限等害獣化を防ぐ措置

問題個体数が	
多い	少ない
少ない	被害が続き熊絶滅も危惧される・人間活動規制
多い	ウエンカムイを駆除、早急に変心率低下措置を
最も望ましい状態	

管理計画私案(戦略2の場合)

	排除地域	防除地域	緩衝地帯	核心生息地	駆除数 上限	捕獲目標 下限	捕獲目標上限
Action 1a 保護 措置 $\tilde{N}_t < N_c$; $\hat{W}_t < W_c$	すべて捕獲 (侵入防止を徹底)	段階1.5以上は生捕り(域外保全)または必要に応じ捕獲	段階1.5以上は生捕りまたは捕獲	段階2以上は生捕りまたは捕獲	$\hat{W}_t$	0	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0^L, N_x)$
Action 1b 保護 措置 $\tilde{N}_t < N_c$; $\hat{W}_t > W_c$	同上	同上。加えて立入制限等害獣化を防ぐ措置	同上。加えて立入制限等害獣化を防ぐ措置	同上。加えて立入制限等害獣化を防ぐ措置	$\hat{W}_t^U / (1-d)$	0	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0^L, N_x)$
Action 2a 増加 措置 $N_c < \tilde{N}_t < N_b$; $\hat{W}_t < W_c$	同上	すべて捕獲	段階1.5以上は必要に応じ捕獲	段階2以上は生捕りまたは捕獲	$\hat{W}_t$	0	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0, N_x)$
Action 2b 増加 措置 $N_c < \tilde{N}_t < N_b$; $\hat{W}_t > W_c$	同上	同上	同上	段階2以上は捕獲	$\hat{W}_t^U / (1-d)$	0	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0, N_x)$
Action 3a 通常 措置 $N_b < \tilde{N}_t < N_x$; $\hat{W}_t < W_c$	同上	同上	同上	同上	$\hat{W}_t$	0	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0, N_x)$
Action 3b 通常 措置 $N_b < \tilde{N}_t < N_x$; $\hat{W}_t > W_c$	同上	同上	同上	同上	$\hat{W}_t^U / (1-d)$	0	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0, N_x)$
Action 4a 低減 措置 $\tilde{N}_t > N_x$; $\hat{W}_t < W_c$	同上	同上	個体数調整、ただし段階1.5以上すべて捕獲	同上	$\hat{W}_t$	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0^L, N_x)$	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0^U, N_x)$
Action 4b 低減 措置 $\tilde{N}_t > N_x$; $\hat{W}_t > W_c$	同上	同上	すべて捕獲	同上+段階1.5必要に応じ捕獲	$\hat{W}_t^U / (1-d)$	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0^L, N_x)$	$\hat{C}_U(\tilde{N}_0^U, N_x)$

検討会では捕獲後の個体数
を示しているが、繁殖後
(捕獲前)とします

①個体群動態と個体数推定

$$N_{t+1} = R_t (N_t - C_t)$$

$$\tilde{N}_t = N_t \exp[N[0, \sigma_N]]$$

$$\tilde{N}_t^L = \tilde{N}_t \exp[-1.64\sigma_N']$$

$$\tilde{N}_t^U = \tilde{N}_t \exp[1.64\sigma_N']$$

$\sigma_N = \sigma_N' = 0.2$ ※ σ_N と σ_N' を等しく置く必然性はない。

$N[m,s]$ は正規分布乱数

個体数 $\tilde{N}_t$ が $\tilde{N}_t < N_c$ のとき緊急保獲措置

$\tilde{N}_t < N_b$ のとき個体数回復措置、

$N_b < \tilde{N}_t < N_x$ のとき現状維持 (通常) 措置、

$\tilde{N}_t > N_x$ のとき5年後の個体数が N_x になるよう個体数調整

点推定値を $\tilde{N}_t$ とし、

対数正規分布の5%ile、中央値と95%ile ($\tilde{N}_t^L$ 、 $\tilde{N}_t$ 、 $\tilde{N}_t^U$)

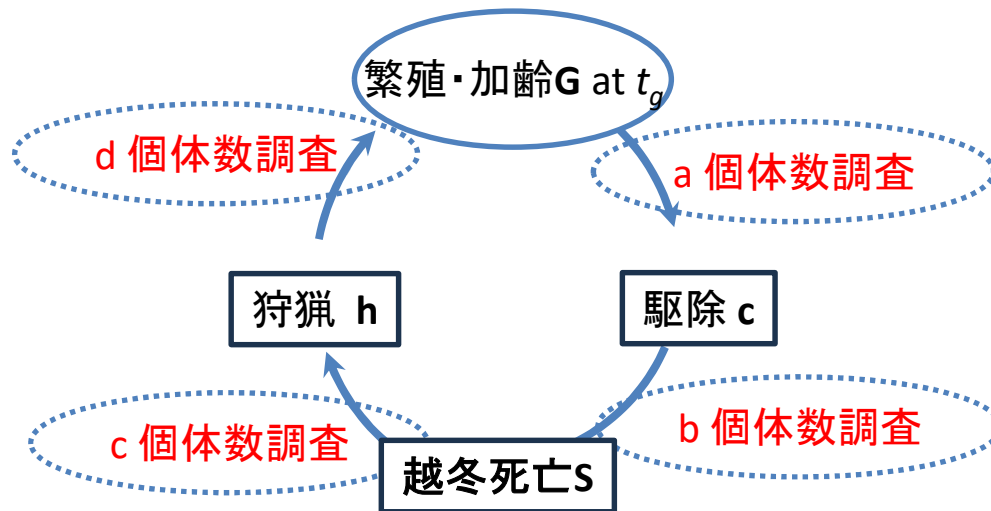
$\log \tilde{N}_t$ の推定誤差の標準偏差 $\sigma_{N,t}$; $\tilde{N}_t^U = \tilde{N}_t \exp[N[0, \sigma_N]]$

減らさないと大量出沒のとき
問題個体数過剰(要検討)



個体群動態モデル

どの季節の個体数を記述するかで、齢構成モデルが異なる (Matsuda & Taper 投稿中)



$$\begin{aligned}
 \text{a) } \mathbf{n}_{t+1} &= \mathbf{G}_t [\mathbf{S}_t (\mathbf{n}_t - \mathbf{c}_t) - \mathbf{h}_t] \\
 \text{b) } \mathbf{n}_{t+1} &= \mathbf{G}_t (\mathbf{S}_t \mathbf{n}_t - \mathbf{h}_t) - \mathbf{c}_{t+1} \\
 \text{c) } \mathbf{n}_{t+1} &= \mathbf{S}_{t+1} [\mathbf{G}_t (\mathbf{n}_t - \mathbf{h}_t) - \mathbf{c}_{t+1}] \\
 \text{d) } \mathbf{n}_{t+1} &= \mathbf{S}_{t+1} (\mathbf{G}_t \mathbf{n}_t - \mathbf{c}_{t+1}) - \mathbf{h}_{t+1}
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{S}_t = \begin{pmatrix} S_{t,0} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & S_{t,1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & S_{t,A-1} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G}_t = \begin{pmatrix} m_0 & m_1 & \cdots & m_{A-1} & m_A \\ 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}$$



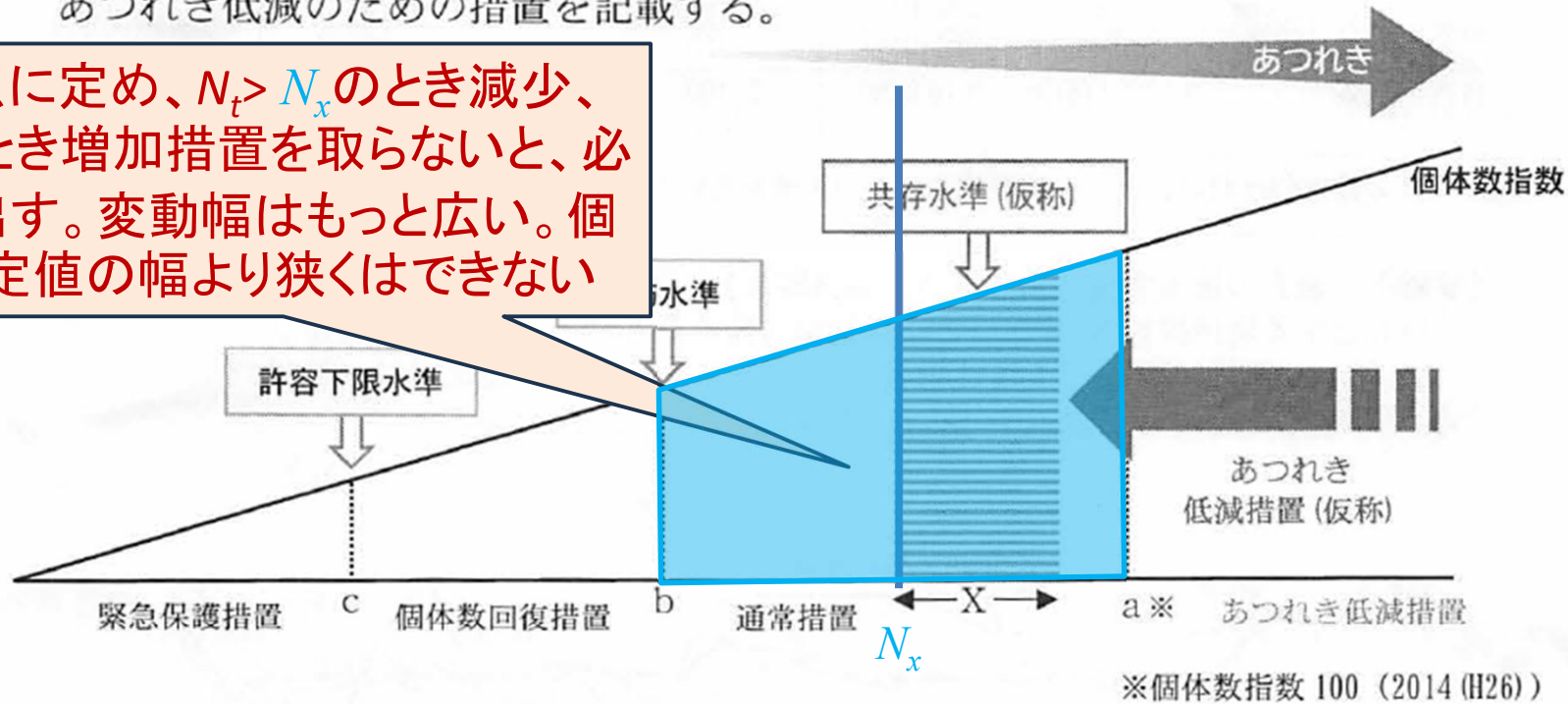
必要情報は上記QRコード＝下記サイト

<https://ecorisk.web.fc2.com/2024/bear-liTOzu2ipL.html>

○ 個体数管理の考え方

あつれき低減のための措置を記載する。

N_x を一点に定め、 $N_t > N_x$ のとき減少、 $N_t < N_x$ のとき増加措置を取らないと、必ずはみ出す。変動幅はもっと広い。個体数推定値の幅より狭くはできない



個体数指数	管理措置	捕獲上限数
$X \leq \text{個体数指数}$	あつれき低減措置	あつれきの指標や生息数の動向を慎重に評価しながら、あつれきの低減を図る必要がある場合は、あつれきが社会問題化していなかった頃の個体数水準を目指す。
$b \leq \text{個体数指数} < X$	通常措置	個体数指数が予防水準を下回らないと考えられる年間捕獲上限数を設定し、総捕獲数をそれ以下に抑制
$c \leq \text{個体数指数} < b$	個体数回復措置	個体数の増加が期待できる年間捕獲上限数を設定し、総捕獲数をそれ以下に抑制することで、個体数の回復を図る
個体数指数 $< c$	緊急保護措置	地域個体群の絶滅を回避するため、狩猟及び許可捕獲を抑制することで、総捕獲数を可能な限り抑制

※ 生息数の推定は不確実性が伴うため、あつれき低減のための措置は、地域個体群ごとに、評価指数などのあつれきや推定生息数のモニタリングを行い、地域個体群の状況を総合的に評価しながら、適宜見直しを行う必要がある。

減らさないと大量出沒のとき問題
個体数過剰（要検討）
7/30加筆 →問題個体をその部
度獲りきることができるようならよい。

自然増加率と変心率の年変動(過程誤差)

餌の豊凶などによる自然増加率の年変動 R_t
 R_t の幾何平均 $\check{R}$ は1.06、その対数の標準偏差 σ_R は0.045

R_t を $\exp[N[\log \check{R}, \sigma_R]]$ の対数正規分布に従うと仮定
毎年独立で自己相関無しと仮定

$R_t < \exp[N[b_f, \log \check{R}, \sigma_R]]$ の凶作年に大量出沒と仮定
 b_f は大量出沒年の頻度 (0.2)

$N[b_f, \mu, \sigma]$ は平均 μ 、SD σ の正規分布で以下を満たす
 $\Pr[x < N[b_f, \mu, \sigma]] = b_f$ (Excel関数Norm.inv(b_f, μ, σ))

※0歳個体の生存率を S_c 、雌亜成獣・成獣の生存率 S_f

全個体が p 頭の子を残し5年後に成獣： $R_t = [S_f^5 + (p/2)S_cS_f^4]^{1/5}$

$(S_c, S_f) = (0.8, 0.95)$ かつ全個体が3頭の子 $R_t = 1.18$

全個体が1頭も子を残さないとすれば $R_t = S_f = 0.95$

$p = 0, 1, 2, 3$ の頻度がそれぞれ0.1, 0.3, 0.3, 0.3とすれば、 R_t の幾何平均 $\check{R}$ は1.06、その対数の標準偏差 σ_R は0.045 $R_t < N[0.2, \log(1.06), 0.045] = 1.025$ のとき大量出沒年



②総個体数・問題個体数管理モデル

N_t は雌成獣数

$B[n,p]$ は試行数 n , 成功率
 p の二項乱数

$$N_{t+1} = R_t (N_t - C_t)$$

$$W_{t+1} = B[(W_t - C_t^W), S_f] + B[(N_t - W_t), S_f b_{t+1}]$$

$$C_t^{W+K} = \min(\text{NB}[W_t, 1-d], \hat{C}_t^W)$$

if $\tilde{W}_t < W_c$ のとき $\hat{C}_t^W = \tilde{W}_t^L$,

if $\tilde{W}_t > W_c$ のとき $\hat{C}_t^W = \tilde{W}_t^U / (1 - d_e)$

または $\hat{C}_t^W = \tilde{W}_t$ (戦略11-16)

$$\tilde{W}_t = (\tilde{W}_t^L + \tilde{W}_t^U) / 2$$

その年の出沒後に捕獲する。

個体数調整を含めた総捕獲数は

$$C_t = \max(C_t^{W+K}, U[C_0^L, C_0^U])$$

$\text{NB}[n,p]$ は失敗率 p で n 回
成功するまでの試行数
(負の二項乱数)

問題個体捕獲数 C_t^W
錯誤を含めて C_t^{W+K}

行動制限等で4での変
心率 b_t を変えたいが、こ
こでは考慮せず

自然増加率 $\check{R}$ より $b/(1-d)$ が大き
いと個体群存続不能。変心率
と錯誤捕獲率を下げるこ

- 錯誤捕獲率 d は、捕獲個体の非問題個体率ではない。問題個体駆除以外に個体数調整枠での捕獲がある。 d_e は錯誤捕獲率 d の推定値
- Action 3,4では、 C_t すべてを捕殺せず、一部を生け捕りにして域外保全を図る？

目標捕獲数の上限と下限

$N_0 = \tilde{N}$ から τ 年間獲り続けて
 $N_\tau = N_{target}$ となる捕獲数
 $\tau = 5$ or 7 or ...

$$\hat{C}_U(\tilde{N}, N_{target}) \equiv \frac{\max[0, \tilde{N}\check{R}^\tau - N_{target}]}{\check{R}(1 + \check{R}^\tau)/(\check{R} - 1)}$$

$$\hat{C}_L(\tilde{N}) \equiv (\check{R} - 1)\tilde{N}$$

$N_0 = \tilde{N}$ でおおむね現状維持となる捕獲数

Block Quota

管理計画5年間中の捕獲数の総和に上限を置いている。
すなわち、 $5C_L < \sum_{t=1}^5 C_t < 5C_U$ を満たすように管理
される。この5年間の捕獲数の総和に対する制限を
block quota という。

大量出沒年に C_U を超えてたくさん獲ら
ないと、目標に達しないかもしれない。

管理戦略

措置① $\tilde{N}_t < N_c$, ② $N_c < \tilde{N}_t < N_b$, ③ $N_b < \tilde{N}_t < N_x$, ④ $\tilde{N}_t > N_x$ に応じて以下のActionを採る。 (ただし次頁参照)

$$C_0^L \equiv (0, 0, 0, \hat{C}_U(\tilde{N}_0^L, N_x)),$$

$$C_0^U \equiv (\hat{C}_U(\tilde{N}_0^L, N_x), \hat{C}_U(\tilde{N}_0, N_x), \hat{C}_U(\tilde{N}_0, N_x), \hat{C}_U(\tilde{N}_0^U, N_x)),$$

※戦略20番台ではすべての N_x の代わりに誘導水準を N_b

計画策定時：上記のActionに応じた4通りの C_0^L と C_0^U は計画策定前年の推定個体数 $\tilde{N}_0$ （定量評価）を使って定める。

期中改定：毎年、個体数 $\tilde{N}_t$ がどの水準にあるかを見直し（定性評価）、上記で定めたAction ①～④を毎年使い分ける

計画見直し（ T 年=5？）ごとに新たな推定個体数 $\tilde{N}_0$ をもとに4通りの C_0^L と C_0^U を定めなおす。



戦略シナリオ

前ページに説明した戦略1,2に加えて、以下の戦略3-6を考える

	措置1	措置2	措置3	措置4
戦略1,2	$\tilde{N}_t < N_c$	$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	$\tilde{N}_t > N_x$
戦略3,4 (道案)	$\tilde{N}_t < N_c$	$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	$N_b < \tilde{N}_t < N_x$ または $\tilde{N}_t > N_x$ かつ $\tilde{W}_t < W_c$	$\tilde{N}_t > N_x$ かつ $\tilde{W}_t > W_c$
戦略5,6	$\tilde{N}_t < N_c$	$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	$\tilde{N}_t > N_b$	—

奇数番号は期中改定無し、偶数番号は期中改定(次頁参照)あり

戦略0+xは戦略 x で常に駆除数上限 $\hat{C}_t^W = \tilde{W}_t^L$ としたもの

戦略20+xは戦略 x で $\hat{C}_U(\cdot, N_x)$ をすべて $\hat{C}_U(\cdot, N_b)$ とし N_b に誘導 (措置3も漸減措置)

戦略30+xは戦略20+xで $\tau=10$ (if $\tilde{N}_0 > 1500$), $\tau=7$ (if $\tilde{N}_0 > 500$), $\tau=5$ (otherwise) とする

戦略40+xは戦略30+xで上記の N_x を N_b としたもの

8/6誤記修正

変数、パラメータ一覧

	説明		
$B[n, p]$	二項乱数		
$\beta[2,4]$	Beta分布乱数		
b_0	大量出没年の頻度		0.2
b_1	非大量出没年の変心率		0.02
b_2	大量出没年の変心率		0.06
C_L	捕獲目標下限		
$\hat{C}_L^*$	捕獲目標最下限		
C_t	年tの捕獲数		
C_U	捕獲目標上限		
$\hat{C}_U(\cdot)$	捕獲目標上限の関数		
d	錯誤捕獲率		0.2
$\hat{d}_e$	錯誤捕獲率の推定値		
N_t	年tの総個体数(雌のみ)		
N_a	個体数過剰水準		500
N_α	「適正」水準(軋轢許容水準)		
N_b	個体数予防水準		200
N_c	個体数保護水準		100
$\tilde{N}_t$	年tの個体数点推定値		
$\tilde{N}_t^L$	年tの個体数5%ile推定値		
$\tilde{N}_t^U$	年tの個体数95%ile推定値		

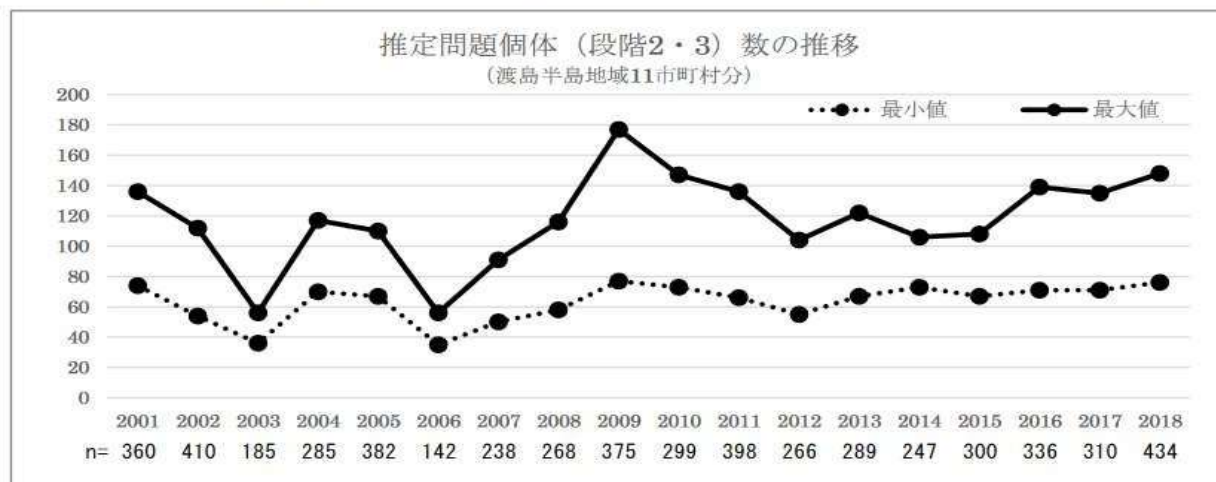
	説明		
$N[\mu, \sigma]$	正規分布乱数		
$NB[n, 1-d]$	負の二項乱数		
$\check{R}$	平均自然増加率		1.06
R_t	年tの自然増加率		
S_c	0歳個体生存率		
S_f	雌成獣・亜成獣年生存率		0.95
t	年(100年通しまたは0~5)		
T	計画改定間隔		5
τ	個体数削減に要する年数		
$U[C_L, C_U]$	一様乱数		
W_0	初期問題個体数		100
W_c	問題個体数管理閾値		20
W_c^*	問題個体数許容上限		20
W_t	年tの問題個体数		
W_t^L	問題個体数最小値		
W_t^U	問題個体数最大値		
$\tilde{W}_t$	問題個体数推定値		
σ_N	個体数推定誤差		0.2
σ_R	増加率変動幅		0.04
	問題個体数推定誤差		2倍程度



②問題個体数推定(必須)

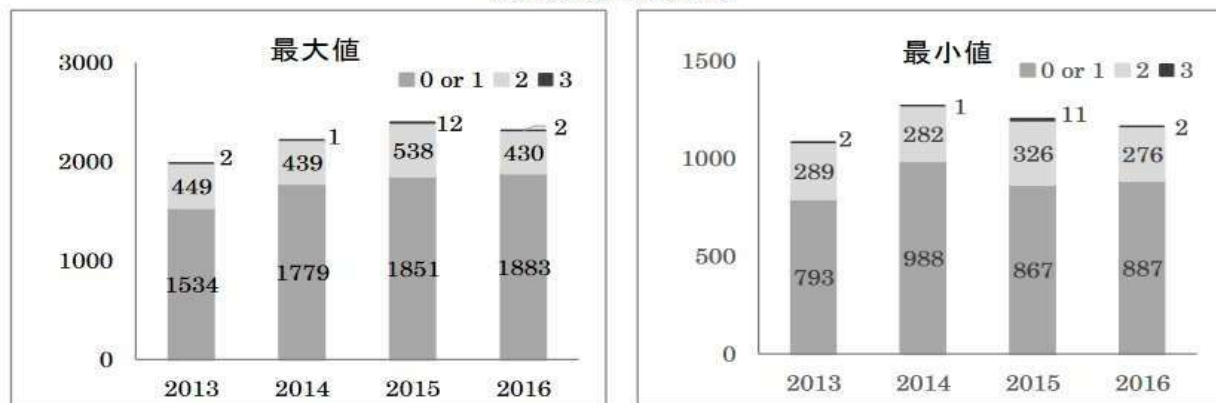
$\tilde{W}_t^L = W_t \exp(-\sigma_W \beta[2,4])$ および $\tilde{W}_t^U = W_t \exp(\sigma_W \beta[2,4])$ と
 $\tilde{W}_t^L/\tilde{W}_t^U$ の期待値は $\exp[2a_\beta/(a_\beta+b_\beta)]=e^{2/3}=1.95$
 $\tilde{W}_t=(\tilde{W}_t^L + \tilde{W}_t^U)/2$ を推定値とする。

(1) 渡島半島地域(対象市町村数: 11 解析事例数: 下図の n)

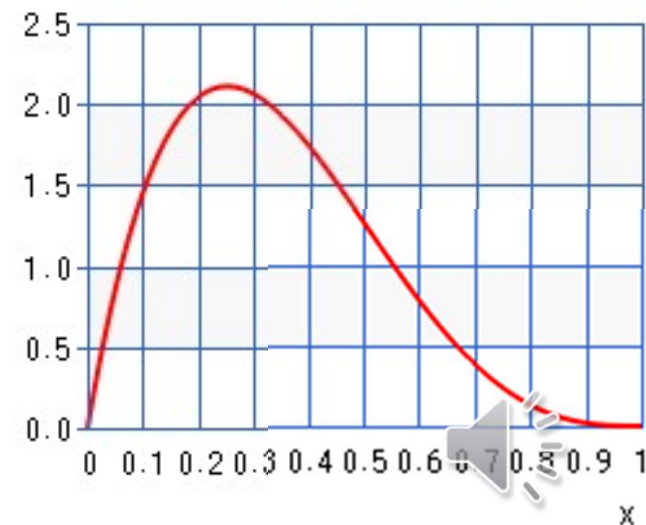


(2) 渡島半島地域以外

段階別推定個体数

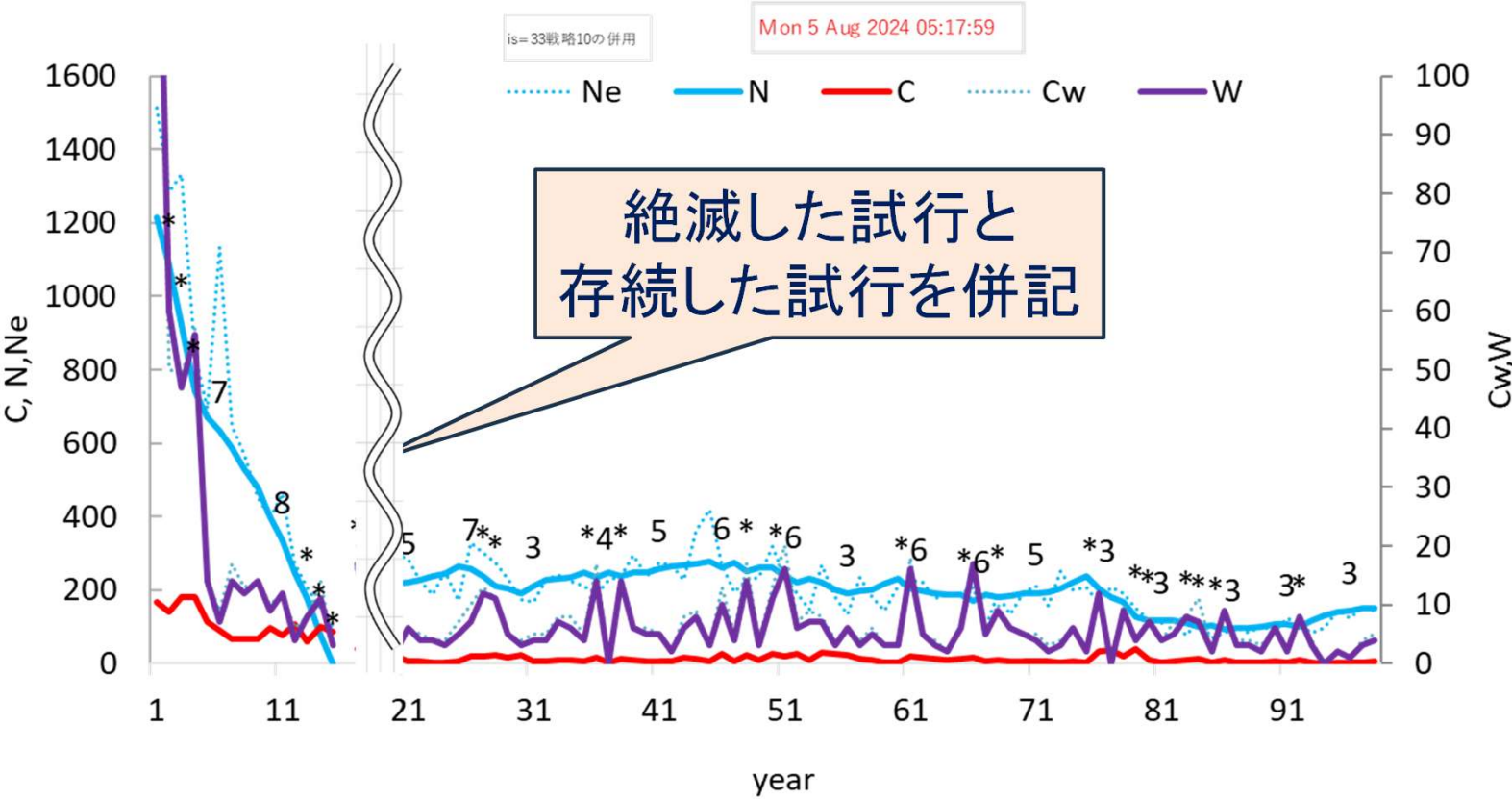


ベータ分布 $\beta[2,4]$



②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略33 期中改定無し



絶滅するときの
多くは初期の減
少措置で獲りす
ぎる。
 $N_t > N_x$ になるた
びに獲りすぎの
恐れあり

Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	5	6
$\tilde{N}_t > N_x$	7	8

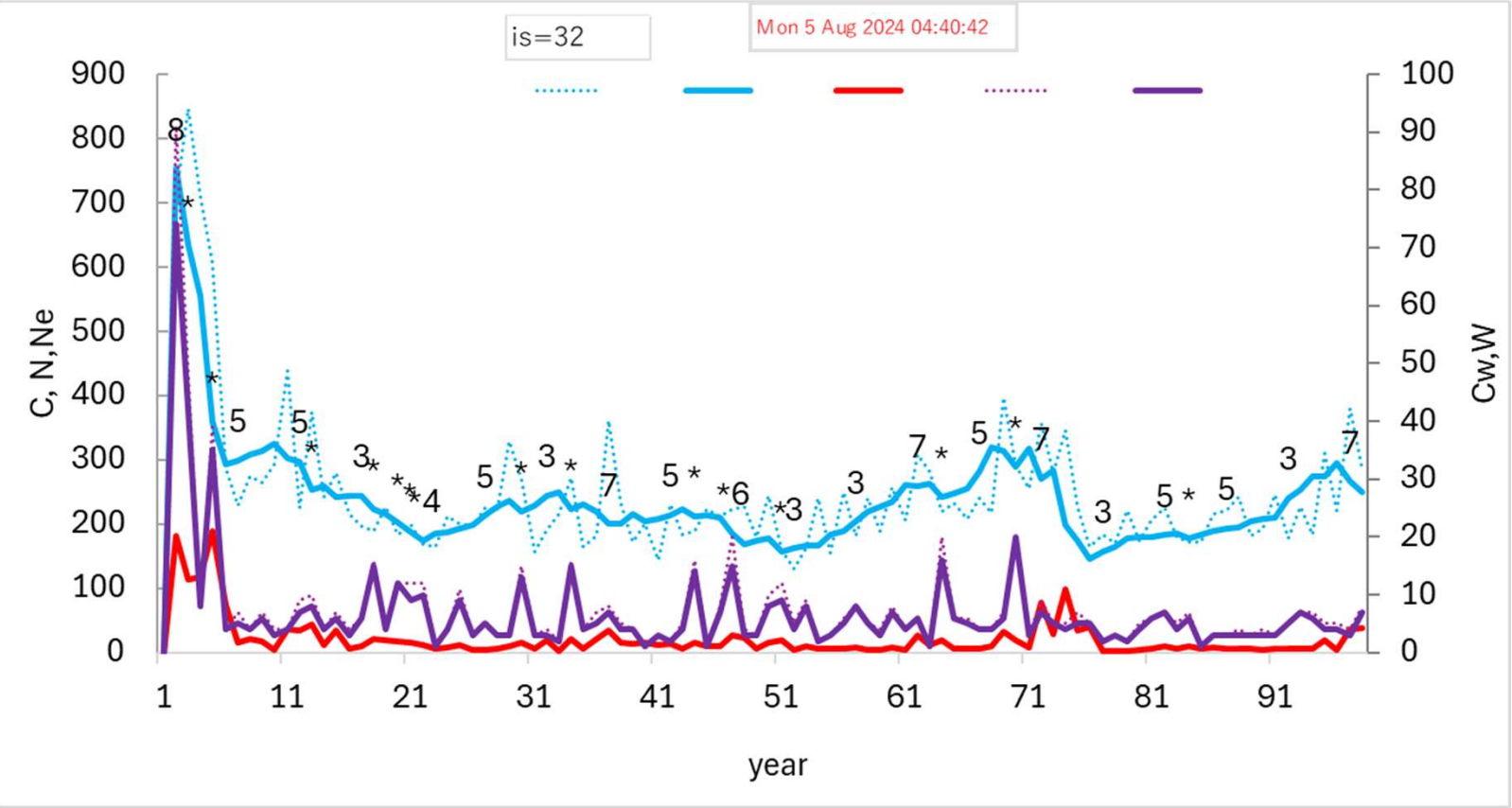
試行数 $\%W_{\max} > 3W_c$	絶滅リスク $\%N_{\min} < N_c$	$N_{\min}$	$N_{\max}$	$C_{\max}$	Cave.	$W_{\max}$	$W_{\text{av.}}$
200	7.5%	101.3	284.8	52.3	8.9	21.5	7.9
0.0%	19.5%	52.1	76.3	41.8	4.6	6.4	4.3

ただし、戦略3,4 (≡道案)
ではAction 7→5、戦略5,6
ではAction 7,8→5, 6

②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略32：5年ごとに計画見直し、 τ 年数可変で N_b に誘導する場合

絶滅リスクは低く、 W_t も低く抑えられる



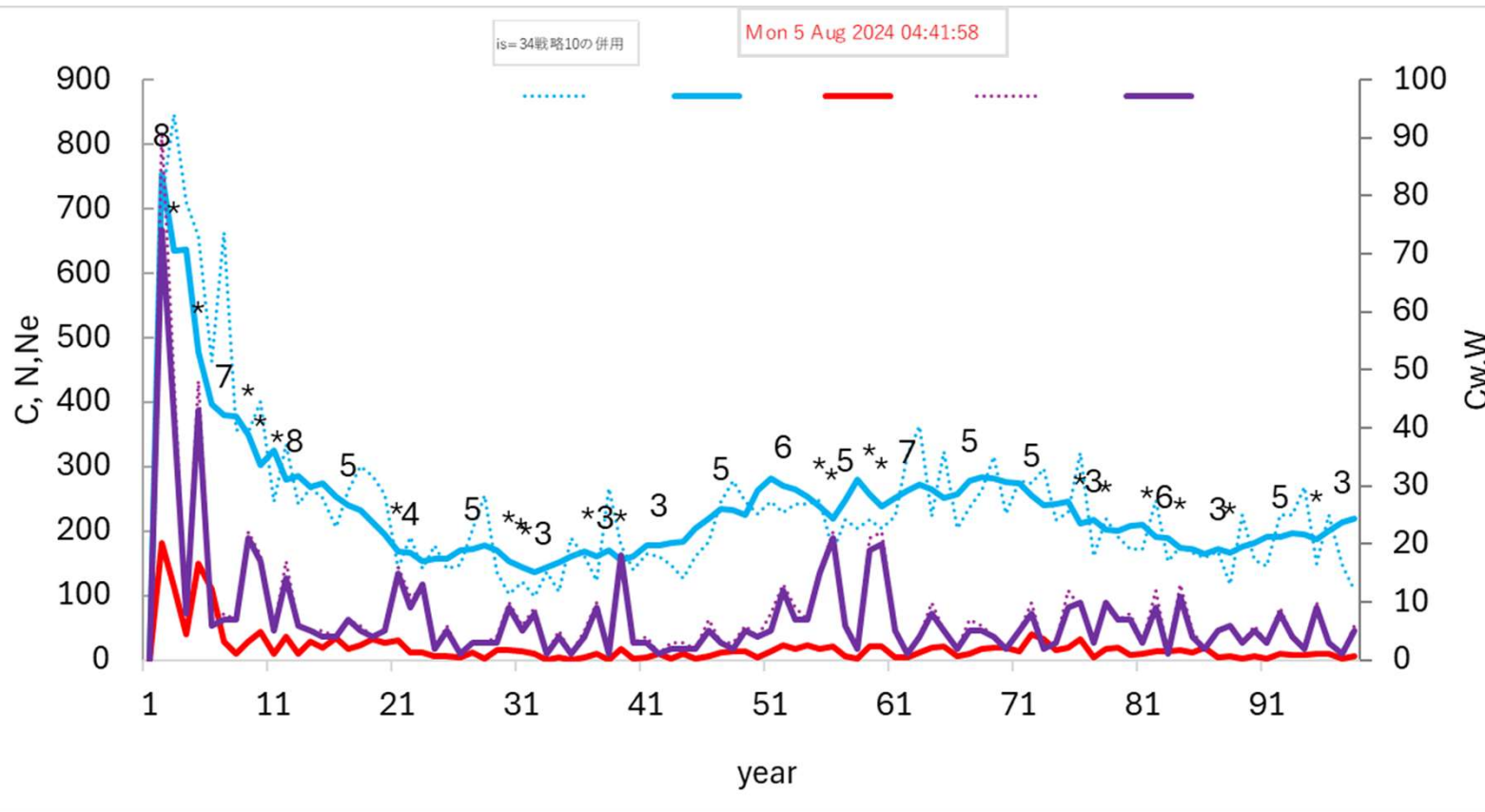
Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	5	6
$\tilde{N}_t > N_x$	7	8

試行数 % $W_{max} > 3 W_c$	絶滅リスク % $N_{min} < N_c$	N_{min}	N_{max}	C_{max}	C_{ave}	W_{max}	$W_{av.}$
200	1.0%	128.3	285.6	49.1	7.2	21.0	6.6
0.0%	4.5%	36.5	42.0	16.7	1.7	4.0	1.5

ただし、戦略3,4 (≡道案) ではAction 7→5、戦略5,6 ではAction 7,8→5, 6

②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略34：



Nmaxは高いが、
絶滅リスクは皆
無に近く、Wtも
少し高いが低く
抑えられる。こ
のパラメータセッ
トでは最適か

Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	5	6
$\tilde{N}_t > N_x$	7	8

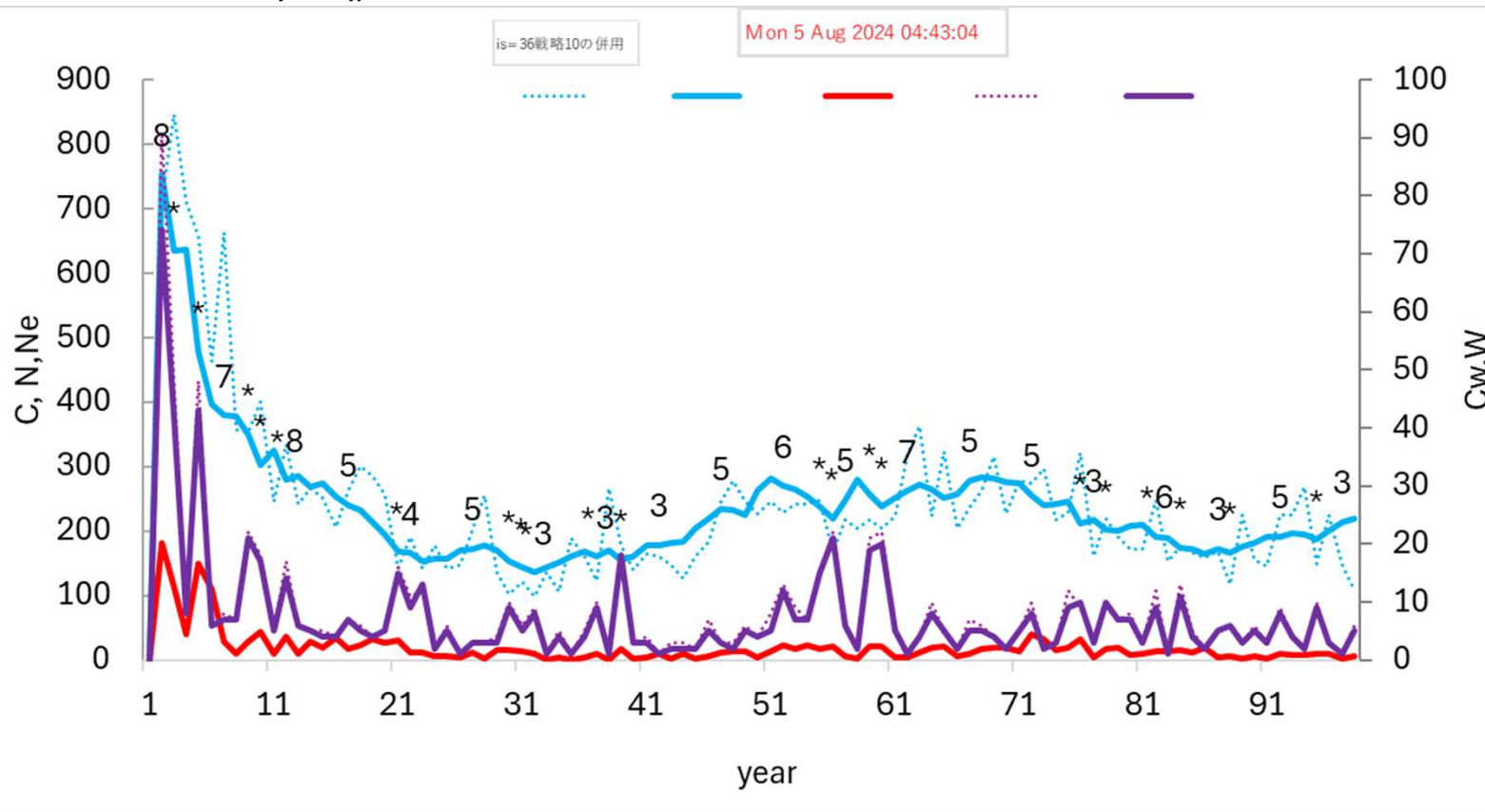
試行数 % $W_{max} > 3 W_c$	絶滅リスク % $N_{min} < N_c$	N_{min}	N_{max}	C_{max}	C_{ave}	W_{max}	$W_{av.}$
200	0.0%	141.4	327.9	53.5	8.0	23.8	7.3
0.0%	2.0%	31.5	56.3	17.4	0.8	4.7	0.8

ただし、戦略3,4 (≡道案)
ではAction 7→5、戦略5,6
ではAction 7,8→5, 6

②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略36： $\tilde{N}_t > N_x$ でも通常措置

N_{max} が高く、 W_t が増えるリスクがある



Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	5	6
$\tilde{N}_t > N_x$	7	8

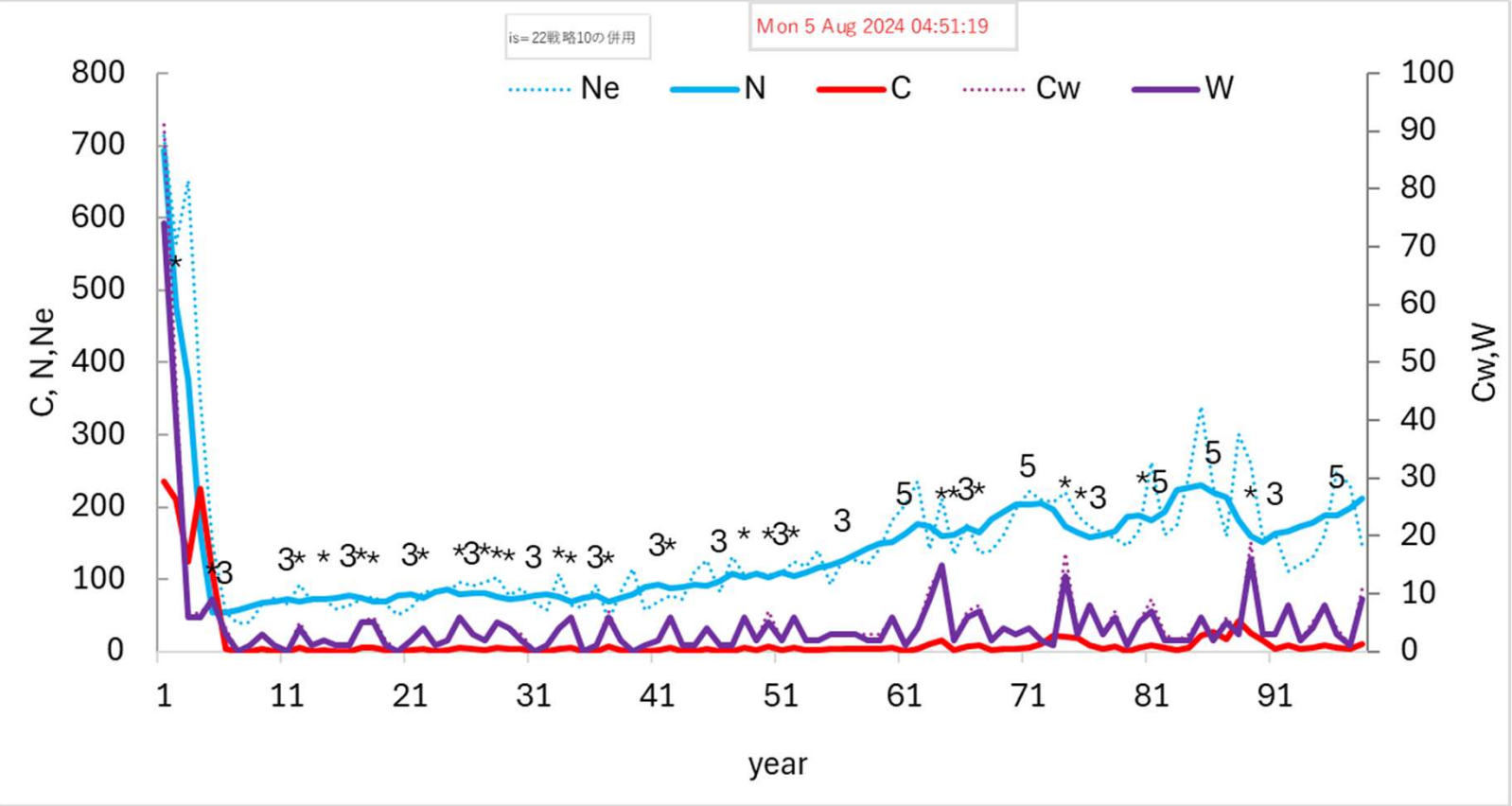
試行数 % $W_{max} > 3 W_c$	絶滅リスク % $N_{min} < N_c$	N_{min}	N_{max}	C_{max}	C_{ave}	W_{max}	$W_{av.}$
200	0.0%	150.1	427.0	60.4	9.5	29.5	8.8
9.0%	0.0%	32.8	151.4	24.4	1.6	9.9	1.5

ただし、戦略3,4 (≡道案)ではAction 7→5、戦略5,6ではAction 7,8→5, 6

②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略22：5年で N_b に誘導する。

W_t は低く抑えられるが、絶滅リスクや激減リスクが無視できない



試行数	絶滅リスク						
% $W_{max} > 3 W_c$	% $N_{min} < N_c$	N_{min}	N_{max}	C_{max}	C_{ave}	W_{max}	$W_{av.}$
200	4.0%	110.2	279.0	55.8	7.4	20.6	6.8
0.0%	13.5%	47.7	56.5	44.4	4.1	5.6	3.7

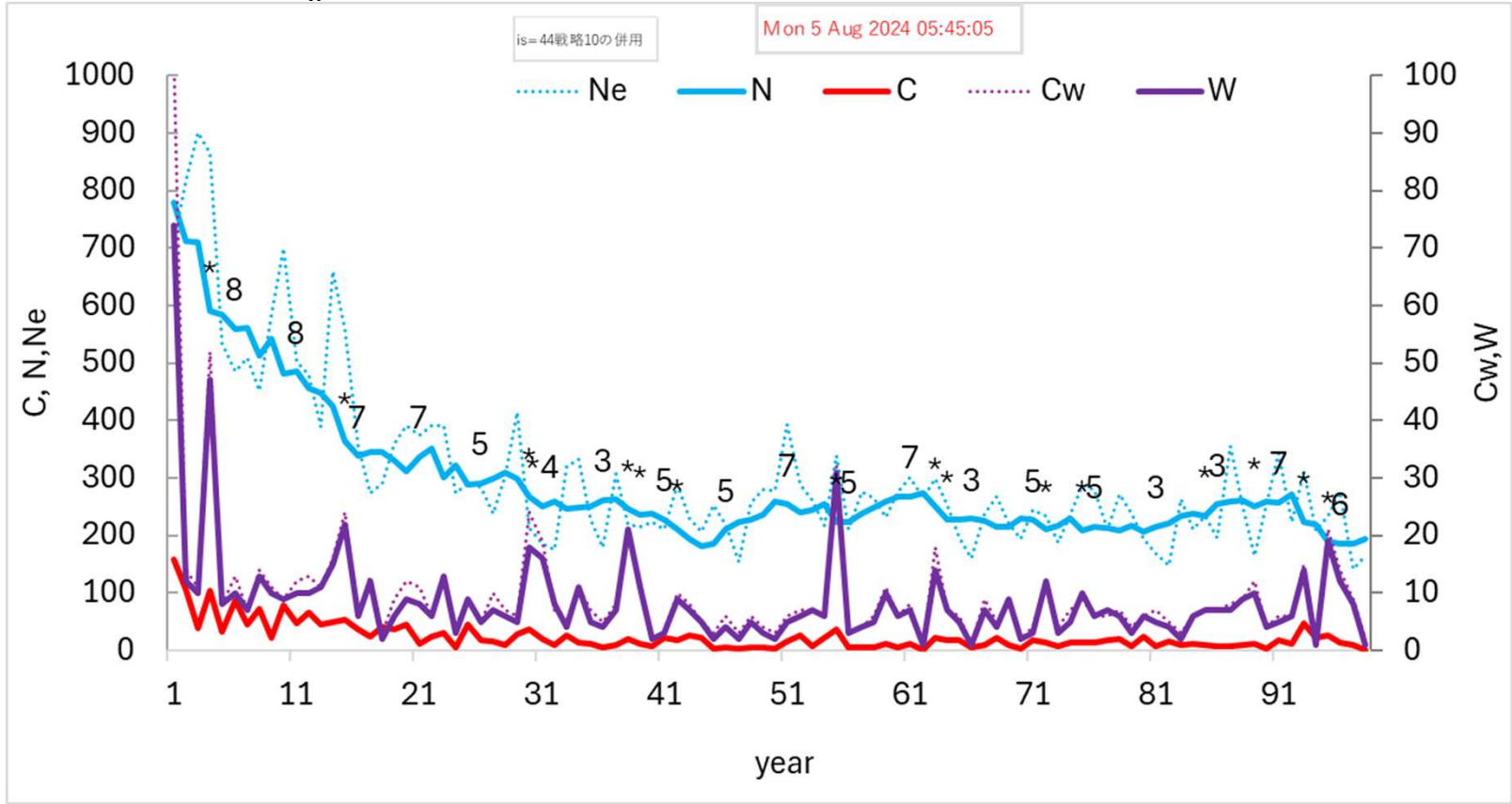
Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	5	6
$\tilde{N}_t > N_x$	7	8

ただし、戦略3,4 (≡道案) ではAction 7→5、戦略5,6 ではAction 7,8→5, 6

②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略44： N_x に誘導する場合

絶滅リスクは低く、 W_t も低く抑えられる



試行数	絶滅リスク						
% $W_{max} > 3 W_c$	% $N_{min} < N_c$	N_{min}	N_{max}	C_{max}	C_{ave}	W_{max}	$W_{av.}$
200	0.0%	130.8	299.1	46.4	8.5	23.0	7.5
0.0%	3.0%	33.2	50.8	14.9	1.0	4.7	0.9

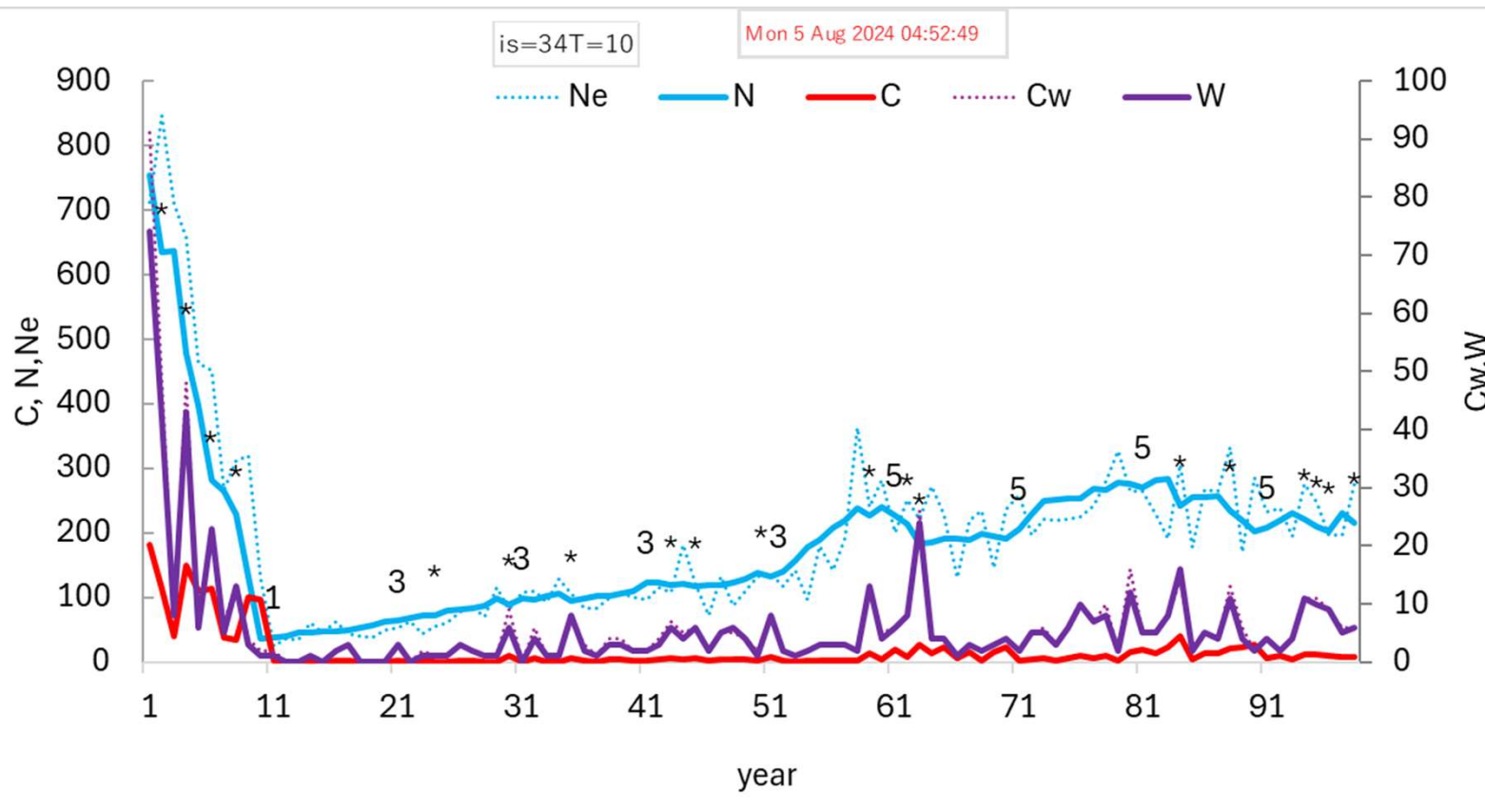
Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	5	6
$\tilde{N}_t > N_x$	7	8

ただし、戦略3,4 (≡道案) ではAction 7→5、戦略5,6 ではAction 7,8→5, 6

②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略34：10年ごとに計画見直し

絶滅リスクや激減リスクがかなり高い



試行数	絶滅リスク						
% $W_{max} > 3 W_c$	% $N_{min} < N_c$	N_{min}	N_{max}	C_{max}	C_{ave}	W_{max}	$W_{av.}$
200	10.0%	62.4	265.5	43.1	6.7	18.3	6.2
0.5%	46.5%	51.3	120.9	30.9	3.4	8.7	3.3

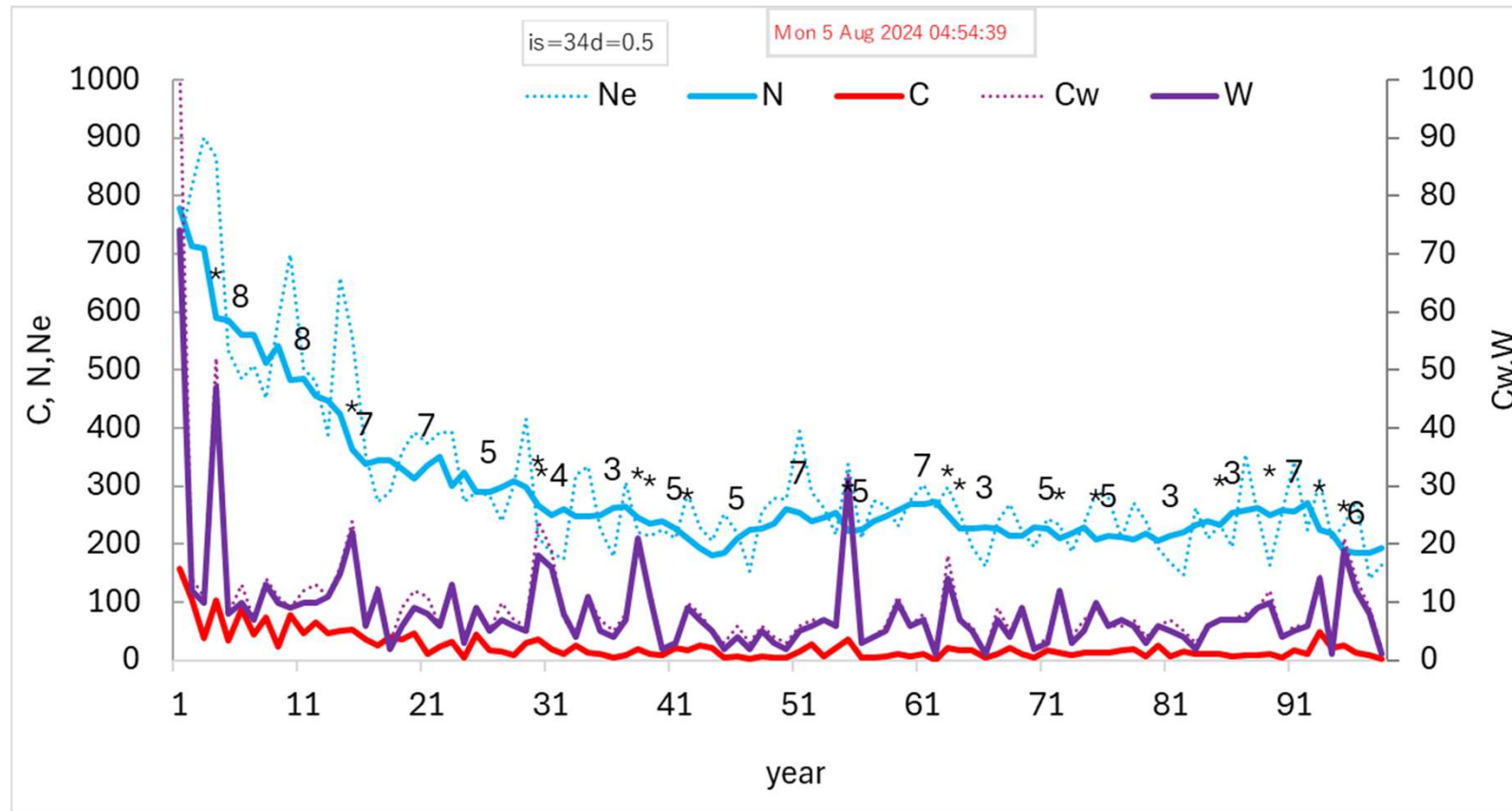
Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	5	6
$\tilde{N}_t > N_x$	7	8

ただし、戦略3,4 (≡道案) ではAction 7→5、戦略5,6 ではAction 7,8→5, 6

②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略34 錯誤捕獲率 $d=0.5$

激減リスクが少し高まるが、おおむね良好



試行数	絶滅リスク						
$\% W_{max} > 3 W_c$	$\% N_{min} < N_c$	N_{min}	N_{max}	C_{max}	C_{ave}	W_{max}	$W_{av.}$
200	0.0%	130.8	299.1	46.4	8.5	23.0	7.5
0.0%	3.0%	33.2	50.8	14.9	1.0	4.7	0.9

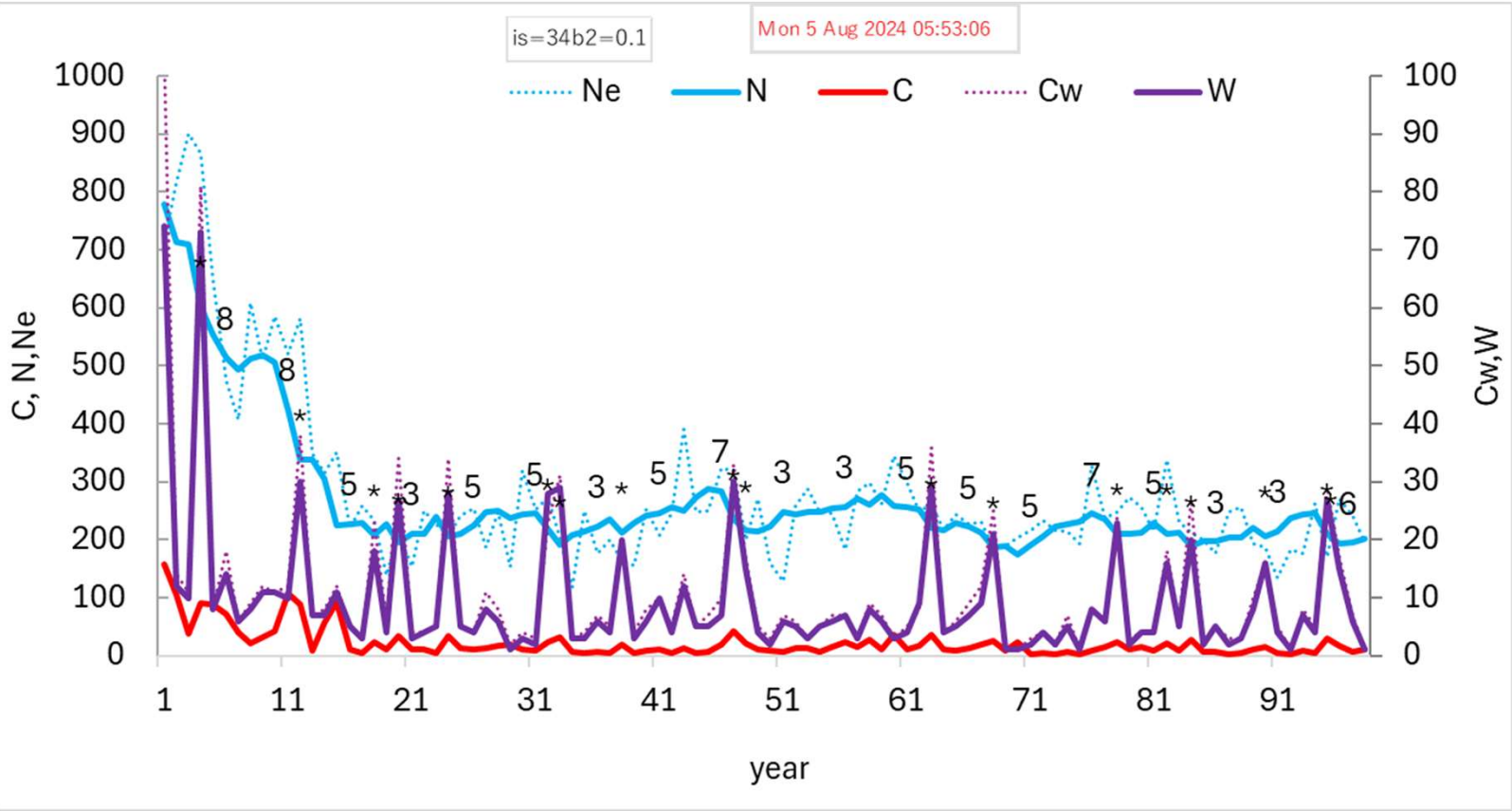
Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_\alpha$	5	6
$\tilde{N}_t > N_\alpha$	7	8

ただし、戦略3,4では
Action 7→5(道案)、戦
略5,6ではAction 7,8→5,
6

②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略32 : b2=0.1

絶滅リスクは低く、Wtも低く抑えられる



試行数 % $W_{max} > 3 W_c$	絶滅リスク % $N_{min} < N_c$	N_{min}	N_{max}	C_{max}	C_{ave}	W_{max}	$W_{av.}$
200	1.0%	128.3	285.6	49.1	7.2	21.0	6.6
0.0%	4.5%	36.5	42.0	16.7	1.7	4.0	1.5

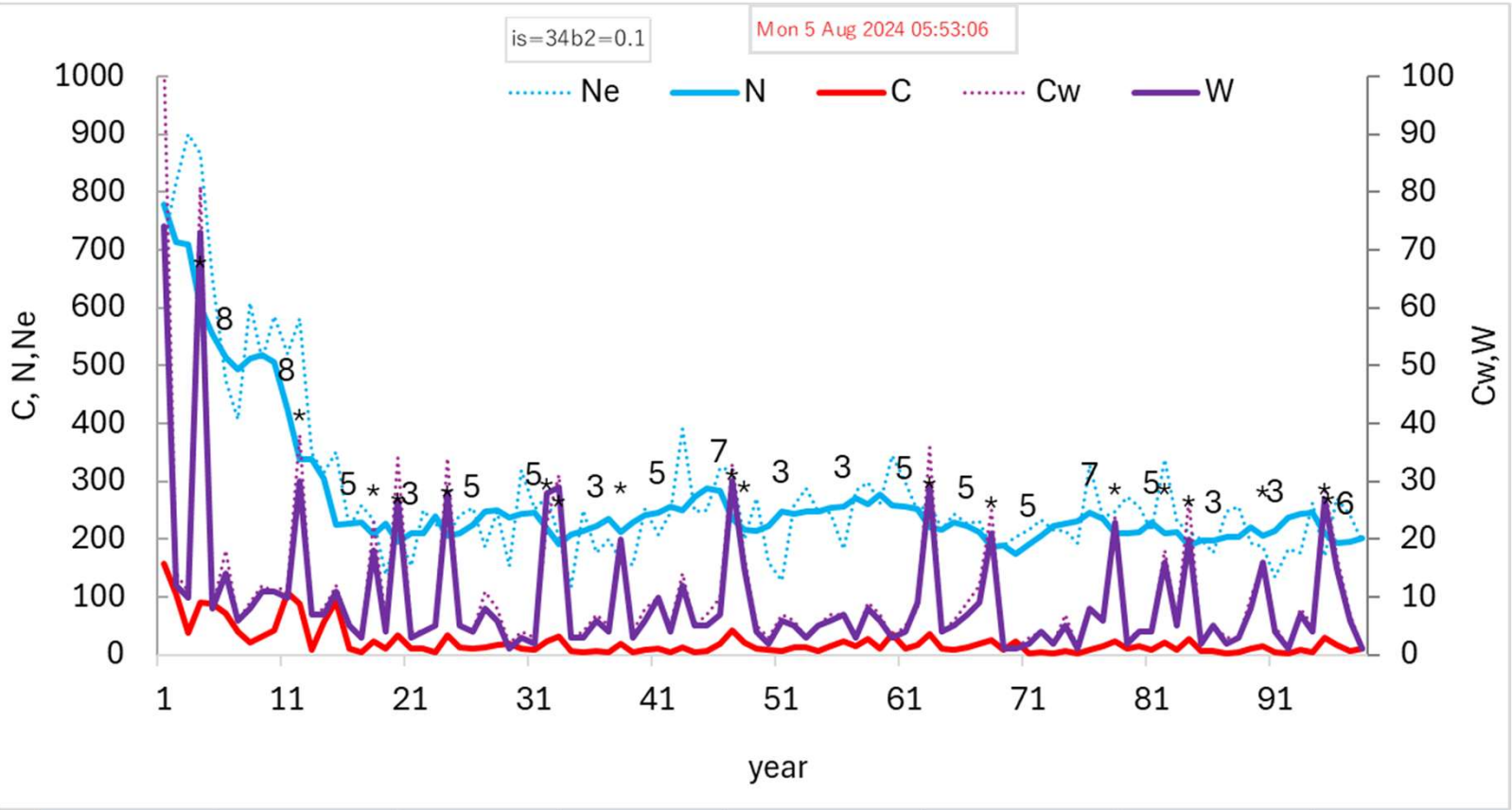
Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	5	6
$\tilde{N}_t > N_x$	7	8

ただし、戦略3,4 (≡道案) ではAction 7→5、戦略5,6 ではAction 7,8→5, 6

②総個体数・問題個体数管理シミュレーション

戦略34：変心率 $b2=0.1$

$W_t > W_c$ のリスク
が高まるが、お
おむね良好



試行数	絶滅リスク	N_{min}	N_{max}	C_{max}	C_{ave}	W_{max}	$W_{av.}$
% $W_{max} > 3 W_c$	% $N_{min} < N_c$						
200	0.0%	110.4	285.0	46.1	9.7	33.2	8.7
5.0%	1.5%	29.0	52.7	16.1	1.1	6.8	1.0

Action 番号	$W_t < W_c$	$W_t > W_c$
$\tilde{N}_t < N_c$	1	2
$N_c < \tilde{N}_t < N_b$	3	4
$N_b < \tilde{N}_t < N_x$	5	6
$\tilde{N}_t > N_x$	7	8

ただし、戦略3,4（≡道案）
ではAction 7→5、戦略5,6
ではAction 7,8→5, 6

N_{min}		C_{max}	C_{ave}		
試行数		絶滅リスク			

管理戦略評価

戦略	N_0	W_0	絶滅	激減	$\% W_{max} > 3 W_c$	N_{min}	W_{max}	N_{max}	$W_{av.}$	
32	800	50	0.1%	1.0%	0.1%	167.8	26.4	364.8	8.1	提案
34	800	50	0.1%	0.5%	2.6%	196.4	31.6	449.3	9.5	≡ 北海道案
36	800	50	0.0%	0.2%	6.8%	149.8	29.4	432.8	8.9	≡ 環境省指針
31	800	50	7.5%	26.4%	0.0%	86.9	19.2	270.8	6.7	期中改定無し
42	800	50	0.2%	4.2%	0.0%	125.6	21.2	287.3	6.6	Nbに誘導
44	800	50	0.1%	1.6%	0.1%	137.2	23.4	322.5	7.3	Nbに誘導
32	800	50	0.5%	4.2%	1.9%	111.3	31.3	270.6	7.8	変心率 $b_2=0.1$
34	800	50	0.3%	1.3%	0.1%	131.9	23.3	308.3	7.6	錯誤率 $d=0.5$
34	800	50	11.6%	42.4%	0.2%	68.9	19.1	276.1	6.5	改定間隔 $T=10$



考察

- 変心率 b が自然増加率 R より高ければ、問題個体を獲る限り個体群は絶滅する。
- 本論文では、5年ごとに計画改定時には $\tilde{N}_t$ の区間推定値を用いて Action の見直しとともに、目標捕獲数の上下限 $\hat{C}_L$ と $\hat{C}_U$ を再計算した。①総個体数管理の期中改定では、定性的に $\tilde{N}_t$ と N_b と N_a との大小関係がある程度わかるという前提のもとに、 $\hat{C}_L$ と $\hat{C}_U$ を補正した。 $\tilde{N}_t < N_b$ のときに $\hat{C}_t^U$ を見直すことで、絶滅を回避した。その代わり、個体数が再び増えて $\tilde{N}_t > N_a$ となるリスクを減らすことは困難であった。
- それに対して、②総個体数・問題個体数管理は、期中改定を行えば、比較的容易に、絶滅リスクを避けることができ、問題個体数の過剰な状態（Action 2 と 4）から脱することができる。ただし、この場合も、期中改定を行わないと、100年間の絶滅リスクが5割を超す結果になった。
- ②総個体数・問題個体数管理が成功する主な要因は、Action 1 と 2 において、問題個体を獲り切ることにある。錯誤捕獲が5割あったとしても、個体数が多い間は問題ない。いったん問題個体を減らすことができれば、個体数は減らすことができなくても、クマとの軋轢は低く抑えることができる？
- 本論文では、個体群動態モデルについて、ゾーニング等の空間構造は考慮していない。それを考慮するには、ゾーン間の移動を含むゾーンごとの個体数と問題個体数の動態を記述する必要があるが、その知見は殆ど得られていない。どこで優先的に捕獲するかに関わらず、本稿で論じたように、問題個体をできるだけ捕獲することが重要である。
- 減少措置（軋轢低減措置）中は、緩衝地帯でも積極的な捕獲が必要か。コアを聖域として目標捕獲数を達成できるかは吟味が必要。（いずれにしても、排除防除地域の捕獲を優先）
- 個体数が減少した場合の生け捕り捕獲は、域外飼育する場合には捕殺と同値である。放獣すれば個体群維持に貢献するが、学習放獣した個体が再び被害をもたらす可能性は高く、現実的ではないだろう。