

個体群レベルの生態リスク評価

— これまでに開発した評価手法の概観と様々な
毒性データの活用方法 —

林 彬 勒

独立行政法人 産業技術総合研究所
化学物質リスク管理研究センター
生態リスク解析チーム

ワークショップの内容

開発した個体群レベル生態リスク評価手法

林 彬勒

→CRMの取り組み, これまでに開発した手法の概観, 様々な毒性データをどのように個体群レベル評価に生かしたのか, その手法について

宮本健一

→様々な魚種に対する評価を行う時のパラメーターの推算方法. 地域魚類個体群を対象に評価したいが, それらの魚類に関する生活史パラメータが入手できない?

加茂将史

→複数の生物種の個体群評価の結果を用いた検討から, 新たな個体群レベルの生態リスク管理手法を提案した. 亜鉛を例に

生態系への悪影響
(生態リスク)

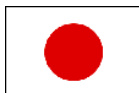


化学物質の有用性
(ベネフィット)

化学物質の利用と規
制に関するバランス

化学物質のベネフィットを利用するには、生態リスク評価の**評価エンドポイント**は、従来の生物が一匹も死なない濃度（個体レベル）を基準にするのではなく、**生物種の存続（個体群レベル）**を基本にすべきと主張

生態リスク評価の歴史



73年化審法制定(ヒト)

70年代中期

86年化審法改訂(ヒト)

80年代中期

生態リスクの概念が提唱され
ハザート／暴露量(ハザード比)
個体群評価の必要性も指摘

94年環境基本計画に生態系影響を
含んだリスク評価が始めて提起され

90年代

98年環境庁がハザード比を用
いて評価を試み

01年にCRM設立

種の感受性分布手法が開発され
化学物質の審査・規制や環境基
準値設定において、ハザード比や
種の感受性分布手法を適用

個体群評価手法は未確立

03年化審法改訂(生態系)

05年水質環境基準値設定

現在

03年SETACでの個体群評価議論
(Roskilde PLERA Workshop)

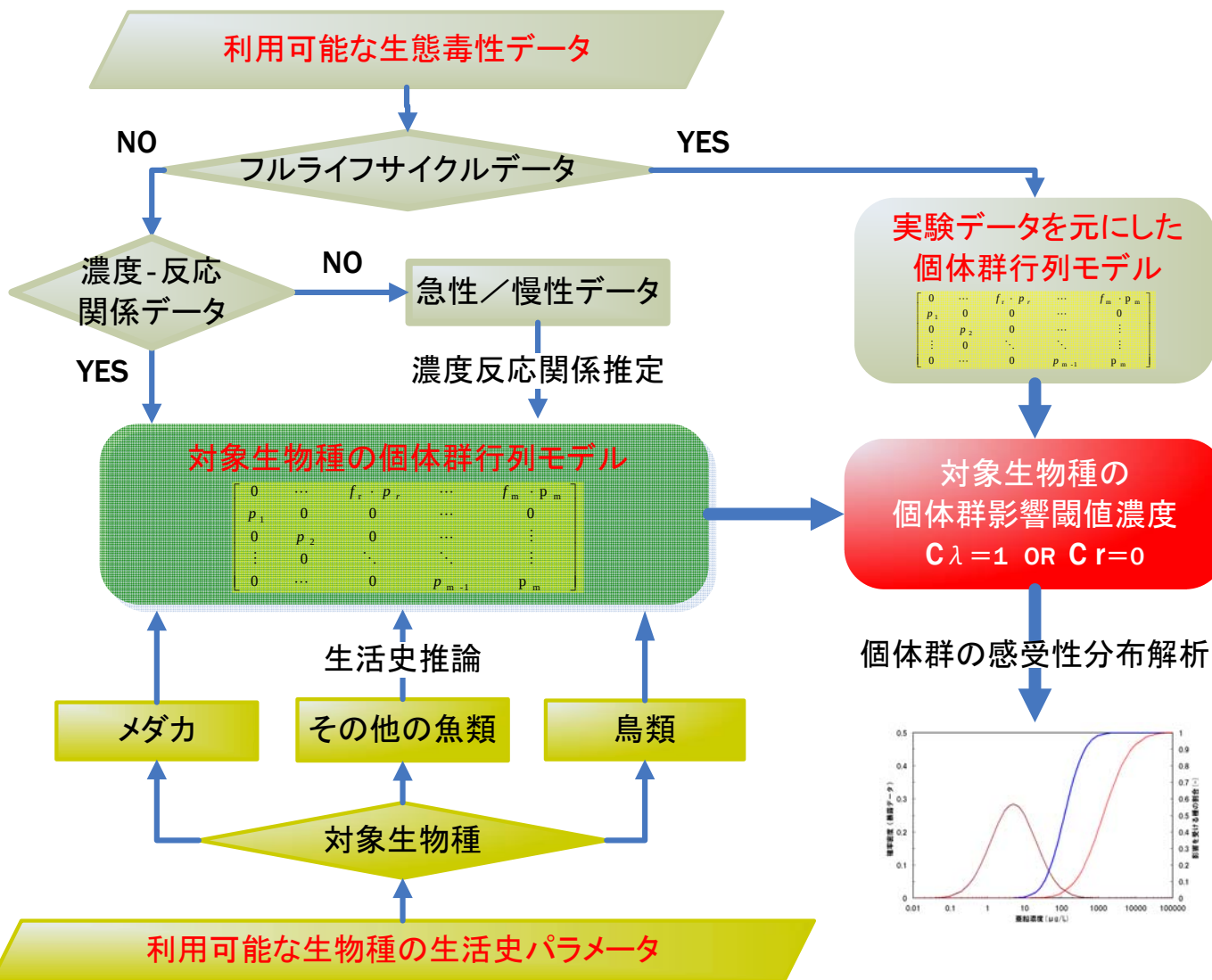
縦系研究

水圏生態系に着目して、高次捕食者である魚類または鳥類を対象生物とした個体群影響評価の手法を開発するとともに、個体群レベル生態リスク評価の枠組みを提案する

横系研究

開発した手法を用いた詳細リスク評価書を作成して、社会に公表することにより、個体群レベル生態リスク評価の考え方と手法を社会へ普及する

縦系研究成果：開発した手法



個体群増殖率 (λ) に基づいた個体群存続可能な濃度を基準にする評価手法の提案

λ を算出するための毒性データや対象生物種の生活史データが十分に存在しない場合の推論手法の開発

個体群の感受性分布手法の提案

横系研究成果：評価書の作成＆公開

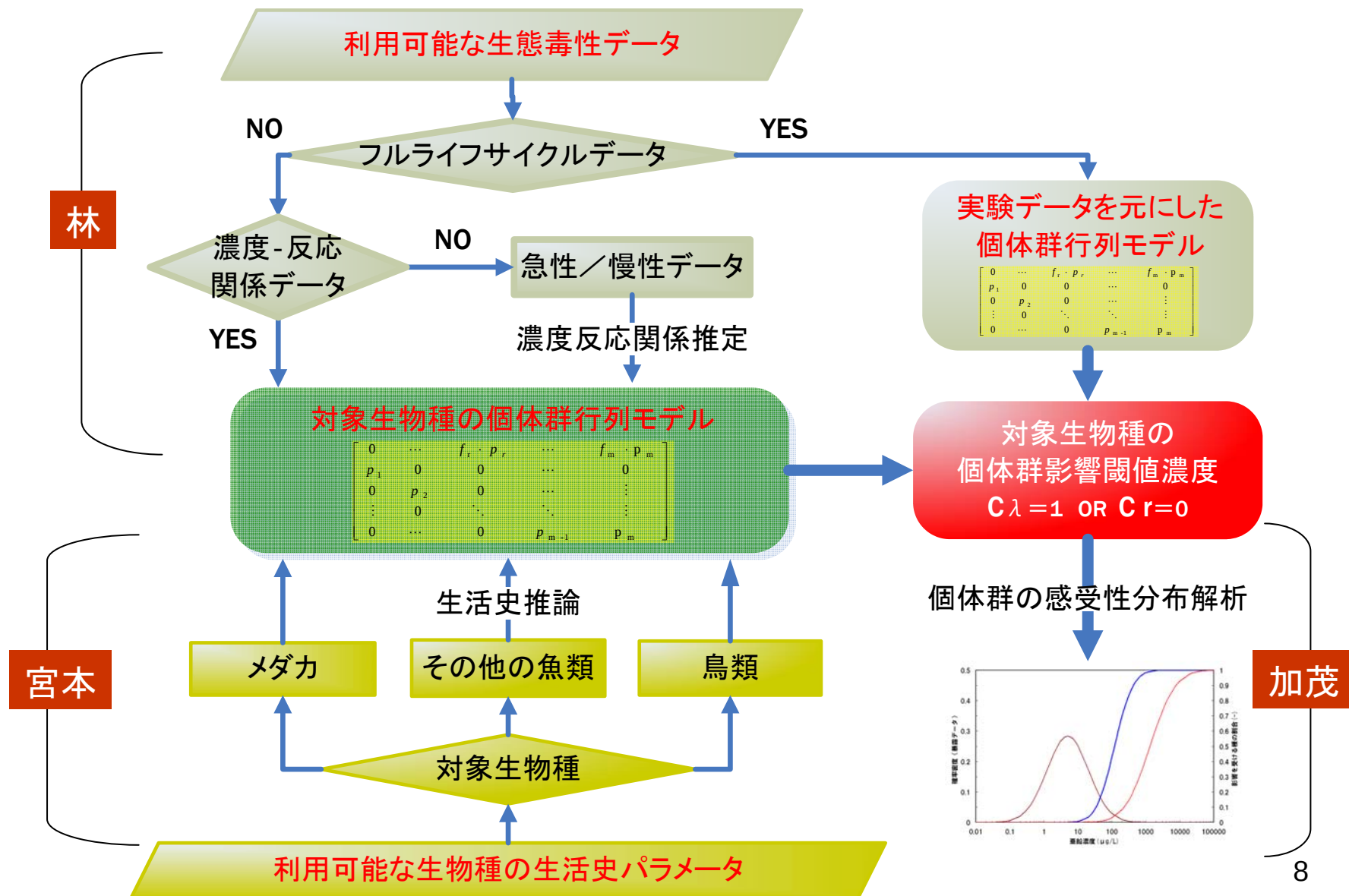
利用可能なデータや化学物質の特徴(e.g.,蓄積性)に応じた
個体群レベルの生態リスク評価の枠組みを提案し, **詳細リ
スク評価書**の作成に適用し, 詳細リスク評価書を公開した.

→ 公表済み: NP(04/5), BPA(05/12), 鉛(06/9)

→ 公表予定: AE(07/5), Co-PCB, 亜鉛等

公的機関が公表しているリスク評価書の中で個体群レベル
の評価まで行った例は, **世界初**.

縦系研究成果：開発した手法



CRMの生態リスク評価プロセス

生態リスク評価

どんな生態系？ → 水圏生態系を中心
どんな代表生物？ → 魚類または鳥類
評価エンドポイント？ → 個体群存続

有害性評価

指標濃度,
濃度-反応関係

毒性データ解析

毒性データ収集

暴露評価

体内濃度

環境中濃度, 餌濃度

排出量

物質フロー

モデル推定値／モニタリング調査の実測値

手法開発における困難な点

使える毒性データ：
実験室のビーカ内

- ✚ 数種類しかない試験生物
(藻類, ミジンコ, 魚)
- ✚ ライフサイクルの一部
- ✚ 個体レベル以下

ギャップを
埋める
ための
ツールや
方法論

評価対象：生態系

- ✚ 多様な生物種
(生産者・捕食者・分解者)
- ✚ 多様な相互作用のある機能系
- ✚ 基本単位は齢構成のある個体群

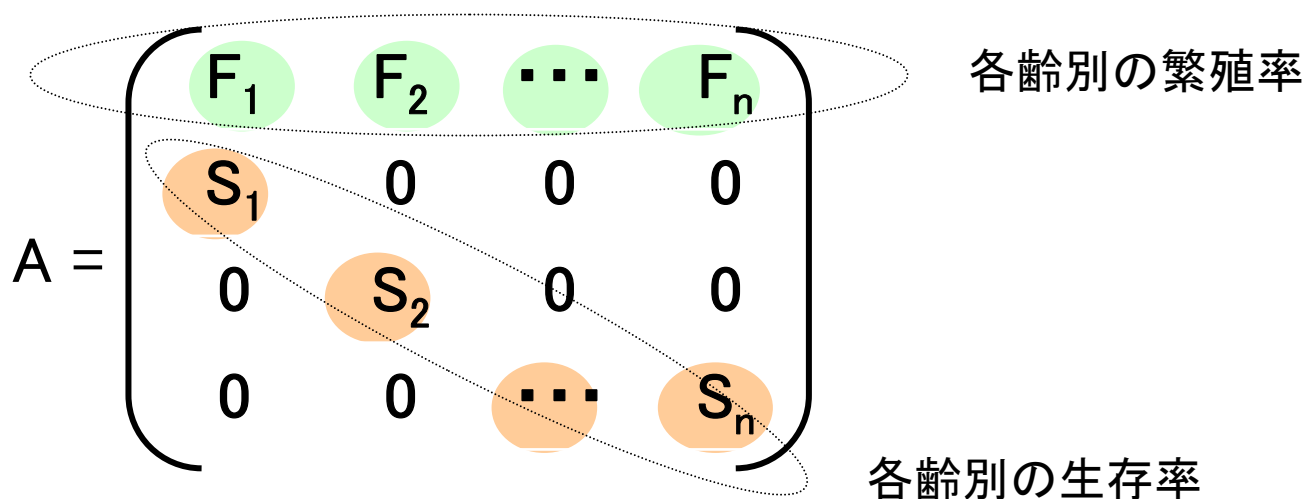
評価の対象生物種を決め、

- 実験室の毒性データを個体群への影響として受け入れることのできる
- 個体群の存続を表すことのできる

個体群行列モデル(レスリー行列)

対象生物種の個体群動態モデル

$$n(t+1) = A n(t)$$



- 対象生物種の生活史パラメータ(FとS)を元に作成できる
- 化学物質による影響(実験室の毒性データ)を, FとSの低下として反映できる
- 最大固有値は個体群増殖率(λ)

$$\lambda = e^r \quad r: \text{内的自然増加率}$$

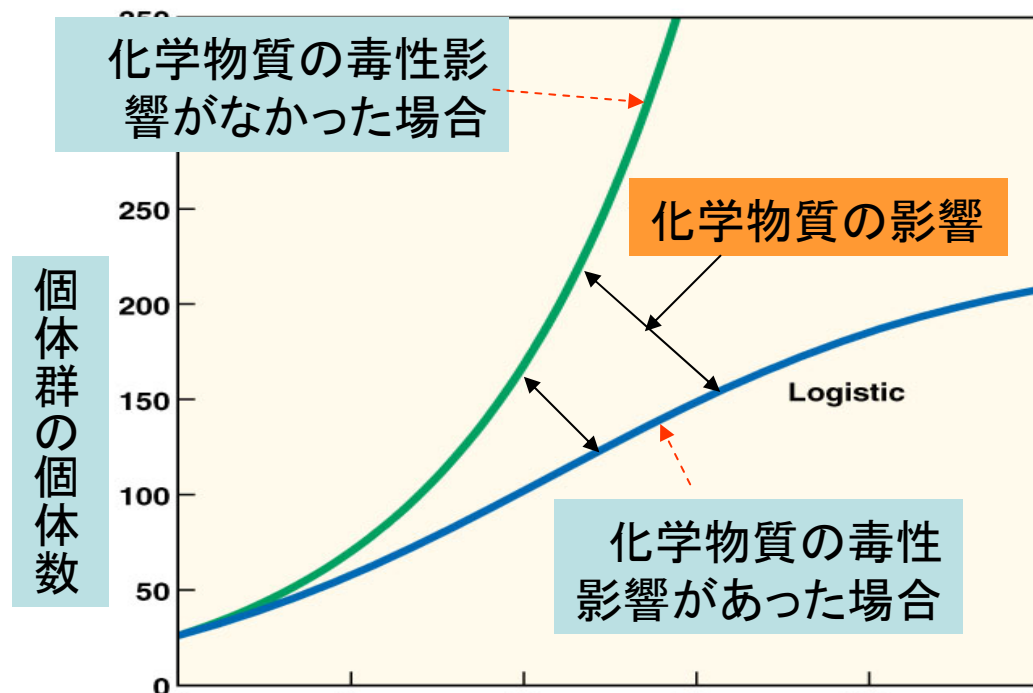
個体群増殖率を評価指標に提案

個体群生態学の理論では、 λ は個体群の存続能力を表す特性値

$\lambda > 1$ 個体数が増加する

$\lambda < 1$ 個体数が減少する

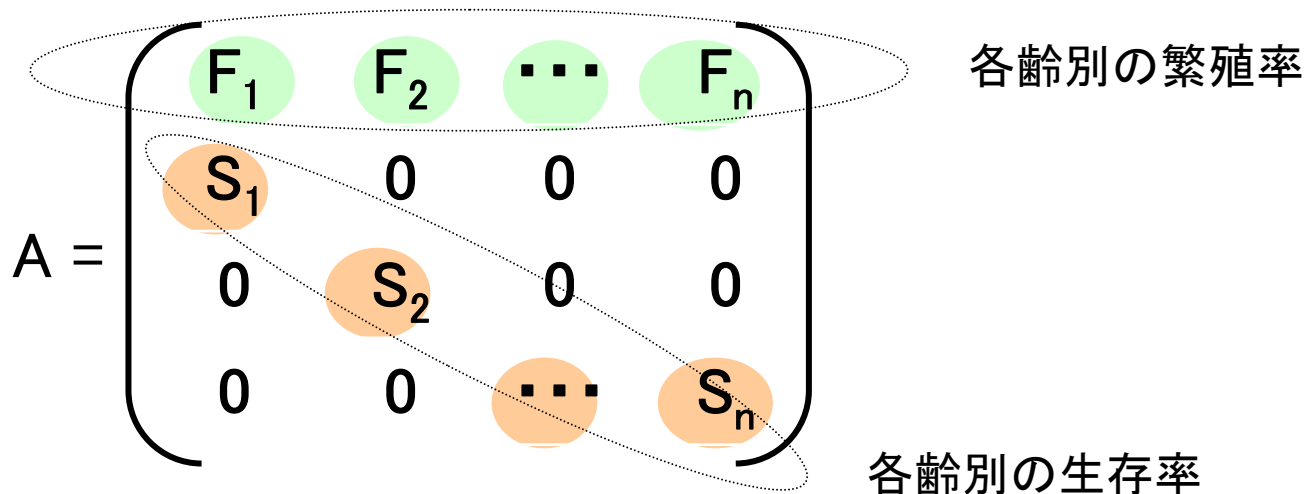
$\lambda = 1$ 個体数が増加も減少もしない



λ が1となった時の化学物質の濃度
||
個体群影響の閾値濃度

実験室の個体群の個体数増加の例
餌や温度等の環境条件が最適、種間競争や捕食の心配もない

λの算出に必要なデータ



- 対象生物種の生活史データ: FとS

→ 魚類 (野外メタカ, 地域魚類)

→ 鳥類

- 生態毒性データ: FとSの低下

→ 急性のLC50やEC50と慢性のNOEC ← 最も多い

→ 濃度-反応関係のデータやライフサイクルデータ ← 稀にある

しかし, 必要なデータが不十分



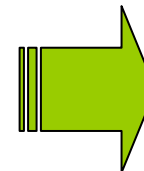
異なる情報量の生態毒性データを活用して、
開発した3つの個体群レベルの生態リスク評価手法について、
メダカを代表生物種にして、NPを例に紹介する

1 フルライフサイクル(FLC)毒性データ (環境省, 2001)

2 生存 & 繁殖の濃度-反応関係毒性データ
(Yokoda et al, 2001, 元データは環境省, 2001)

3 急性 & 慢性の点的なデータ (LC50/EC50 & NOEC)
(NP評価書で集めたメダカの毒性データ)

AE (LC50/EC50およびNOECでさえない場合)



FLC毒性データ:方法

メダカのフルライフサイクルデータ(環境省, 2001)

5つの曝露濃度で、受精卵から孵化後の成魚まで、
104日間、毎日観察した死亡数と産卵数のデータ



実験データの情報をすべて利用して、個体群行列モデルを構築

$$\begin{bmatrix} n_1(t+1) \\ n_2(t+1) \\ \vdots \\ n_{103}(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & f_{71} \cdot p_{71} & \cdots & f_{103} \cdot p_{103} \\ p_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & \cdots & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & p_{102} & p_{103} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ \vdots \\ n_{103}(t) \end{bmatrix}$$

FLC毒性データ:結果

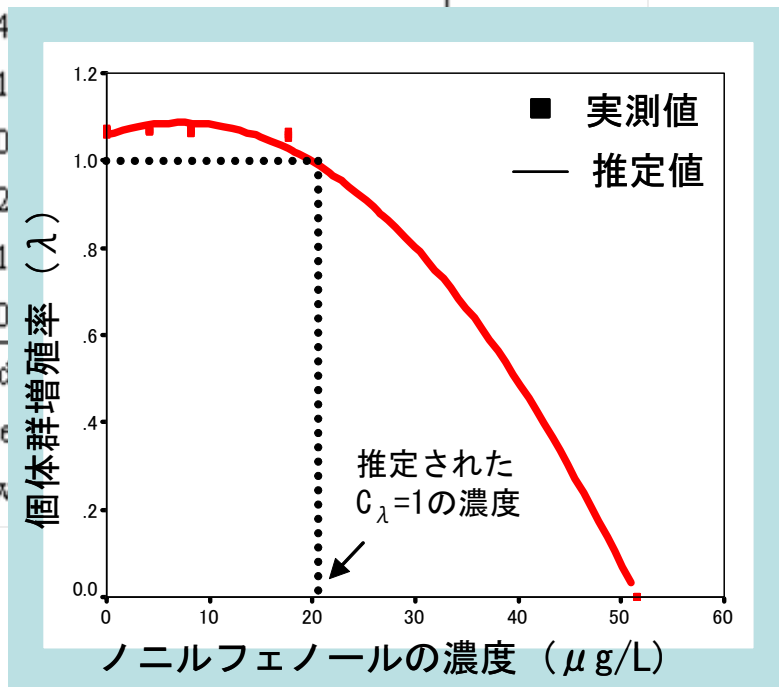


Table Population growth rate (λ) estimated from projection matrix for Medaka (*Oryzias latipes*)
exposed to 4-nonylphenol using 103-d life-cycle data.

Nominal concentration (ug/l)	Measured concentration (ug/l)	Estimated λ (103 d)						Average
		A	B	C	D	E	F	
Solvent Control	Solvent Control	1.070	1.067	1.064				
Control	Control	1.066	1.072	1.071				
50	51.5*	0.000	0.000	0.000				
16.7	17.7**	1.058	1.065	1.052				
5.56	8.2	1.072	1.069	1.061				
1.85	4.2	1.069	1.066	1.070				

* No pairs was mated for the investigation of fecundity and
failure of selecting male ones based on the

** Only three pairs from 17.7-ug/l treatment w



$\lambda = 1$ の時のNP濃度

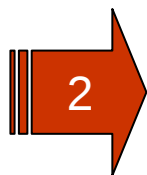
平均値 21.0 μ g/L

95%上限値 15.7 μ g/L

95%下限値 24.9 μ g/L



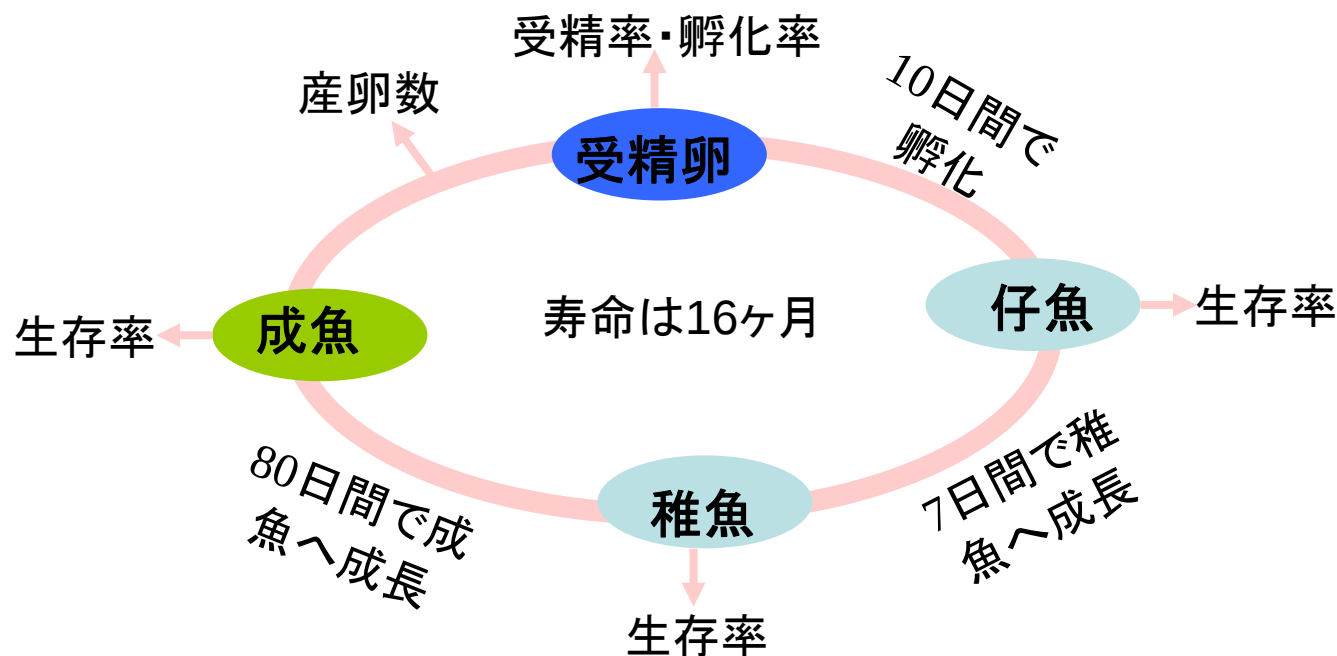
異なる情報量の生態毒性データを活用して、
開発した3つの個体群レベルの生態リスク評価手法について、
メダカを代表生物種にして、NPを例に紹介する



生存 & 繁殖の濃度-反応関係毒性データ

(Yokoda et al, 2001, 元データは環境省, 2001)

濃度-反応関係の毒性データ: 方法



文献調査から得られたメダカの生活史パラメータを基に、
野外メダカの生活史モデルを構築する

濃度-反応関係の毒性データ: 結果



$$\overline{n_{t+1}} = M \cdot \overline{n_t}$$

$$\begin{bmatrix} N_{egg1} \\ \vdots \\ N_{larvae1} \\ \vdots \\ N_{juveniles1} \\ \vdots \\ N_{juveniles80} \\ N_{adults} \end{bmatrix}_{t+1} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & fp_1 \\ p_2 & 0 & & & & & 0 & 0 \\ 0 & p_3 & \ddots & & & & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & & & & \ddots & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & p_{98} & p_{99} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N_{egg1} \\ \vdots \\ N_{larvae1} \\ \vdots \\ N_{juveniles1} \\ \vdots \\ N_{juveniles80} \\ N_{adults} \end{bmatrix}_t$$

野外メダカ的生活史モデル

$\lambda = 1$ の時のNP濃度

平均値 $27.5 \mu\text{g/L}$

95%上限値 $20.2 \mu\text{g/L}$

95%下限値 $33.0 \mu\text{g/L}$

生存および繁殖の
濃度-反応関係の
毒性データ



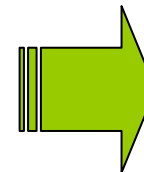
異なる情報量の生態毒性データを活用して、
開発した3つの個体群レベルの生態リスク評価手法について、
メダカを代表生物種にして、NPを例に紹介する



急性 & 慢性の点的なデータ(LC50/EC50 & NOEC)

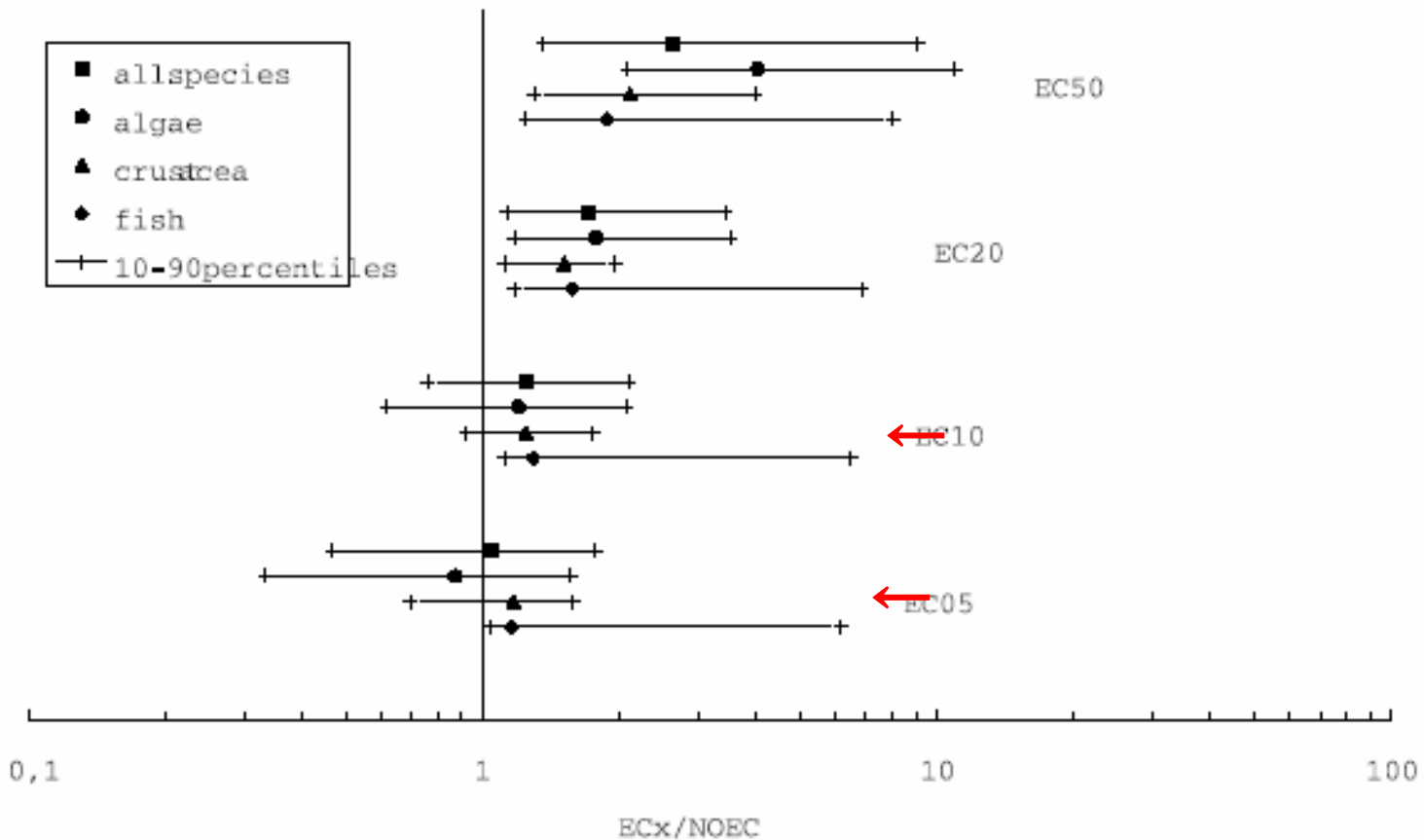
(NP評価書で集めたメダカの毒性データ)

AE (LC50/EC50およびNOECでさえない場合)



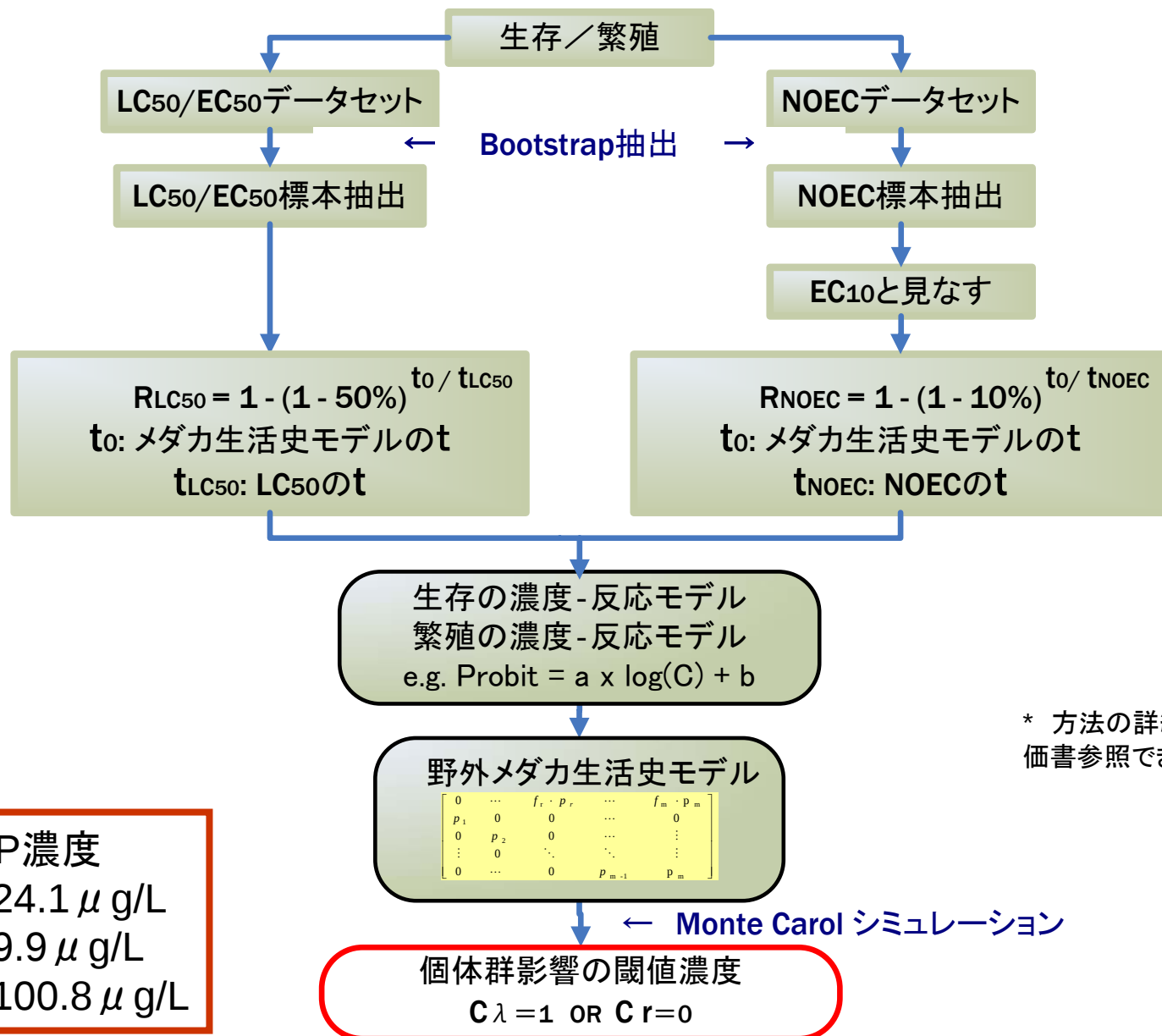
LC50/EC50およびNOEC: 方法

NOECを活用するため、下図の論文報告の結果を根拠に
NOECをEC5またはEC10とみなす



Isnard et al. 2001, Fig.7

LC50/EC50およびNOEC: 方法 & 結果



$\lambda = 1$ の時のNP濃度

平均値 24.1 μ g/L
 95%上限値 9.9 μ g/L
 95%下限値 100.8 μ g/L

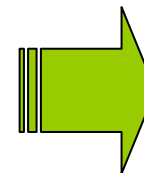
* 方法の詳細は, AE評価書参照できる

異なる情報量の毒性データ



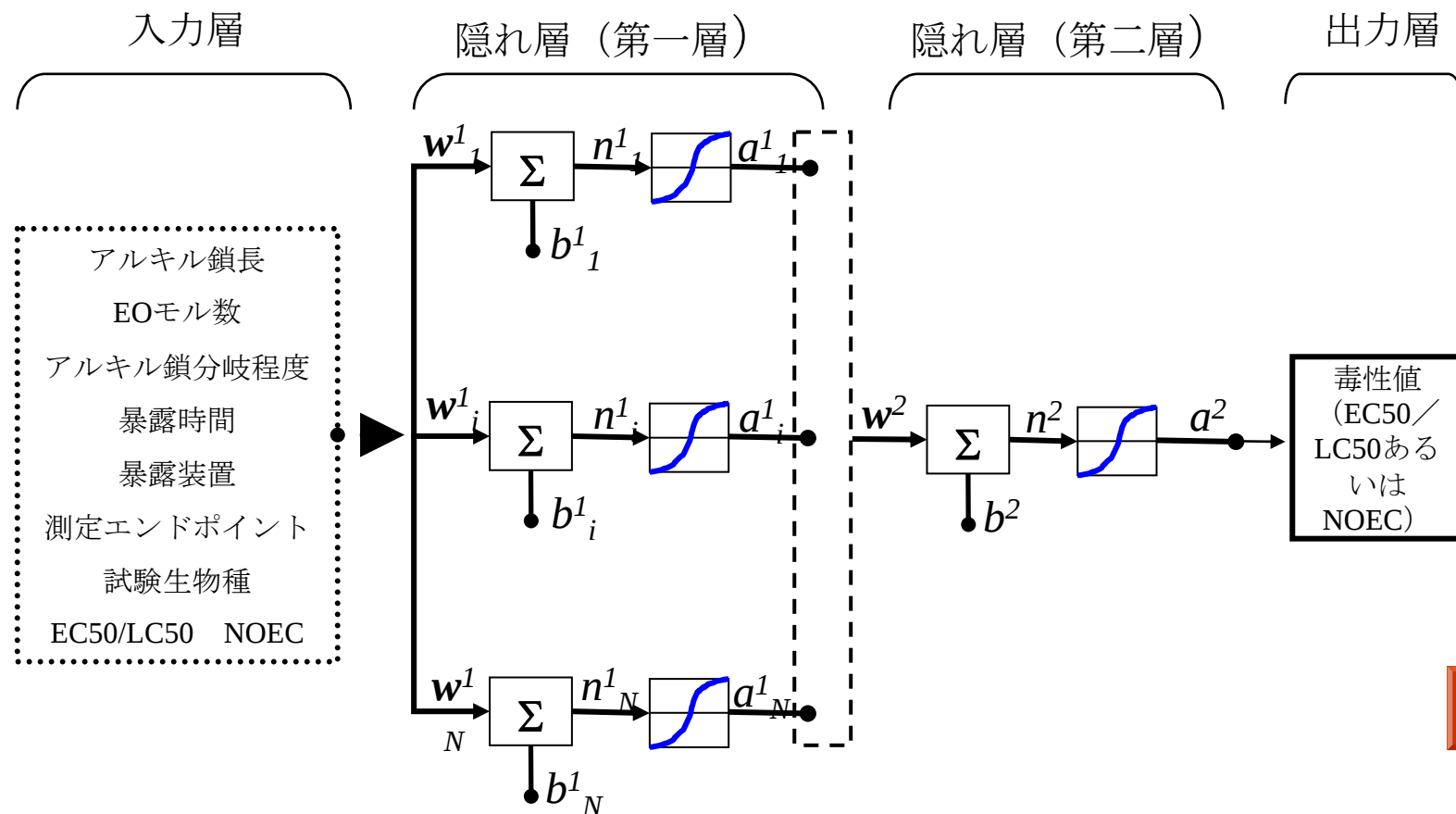
異なる情報量の生態毒性データを活用して、
開発した3つの個体群レベルの生態リスク評価手法について、
メダカを代表生物種にして、NPを例に紹介する

AE (LC50/EC50およびNOECでさえない場合)



LC50/EC50およびNOECさえない: AE

毒性値を推定できるニューラルネットワークモデルを開発した



AE (5月に公開予定)

3つの手法による評価結果のまとめ

方法	メダカ個体群影響閾値濃度 ($C_{\lambda=1}$)		方法の詳細に関する参考文献
	中央値	95%信頼区間	
フルライフサイクル毒性データ	21.0	(15.7, 24.9)	Lin et al., 2005; NP詳細リスク評価書
濃度-反応関係データ	27.5	(20.2, 33.0)	Meng et al., 2006
点的なデータ (LC50/EC50やNOEC)	24.1	(9.9, 100.8)	AE詳細リスク評価書

- 異なる手法による中央値はそれほどの差がなかった
- 点的な毒性データを用いた外挿手法の頑健性が確認できた
- 外挿手法を適用すればより多くの化学物質の個体群評価ができる

今後の課題

✚ 不確実性解析

- LC50とNOECからの外挿手法における不確実性の定量化
- 簡単な毒性試験結果から複雑な生態系への外挿

✚ 分子・細胞・組織レベルのバイオアッセイデータを利用できる個体群評価手法の開発

環境中の化学物質が、低濃度化・暴露長期化の傾向が強いこと、また動物愛護の意識が高まってきたこと、などから、安価で低濃度の化学物質の毒性を診断できる**個体レベル以下のバイオアッセイデータ**が、今後確実に増える

ご静聴ありがとうございました

現行の生態リスク評価手法では多くの課題を抱えているが、現在の科学的知見からこれらの課題をすべてクリアすることのできる評価手法を構築するのはきわめて困難である

そういった意味で日本における生態リスク評価に関する研究は緒についたばかりといえる。とくに、評価に関する方法論については、研究者のあいだでまだ統一的な見解に達していない現状が見受けられる

しかし、生態影響評価は個体の生死にこだわるよりも個体群レベルでの評価が妥当であるとの考え方がもはや世界的な流れとなりつつある

今後、より多くの研究仲間が増えるように心より期待する