

ダイオキシン類のカワウ個体群への影響評価モデル —構築と試算—

Effect Evaluation Model of Dioxins to the Common Cormorant Population
Modeling and Trial Calculation

村田麻里子、益永茂樹、中西準子

(横浜国立大学・環境科学研究センター)

Mariko Murata, Shigeki Masunaga, Junko Nakanishi

(Institute of Environmental Science and Technology, Yokohama National University)

【はじめに】

ダイオキシン類(PCDDs, PCDFs および co-PCBs)は環境中に長期間残留し、生物に取り込まれ蓄積される。わが国の野生生物も多かれ少なかれダイオキシン類に汚染されており、そのなかでも特に、魚食性の鳥類の汚染が高レベルであることが報告されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

本研究では、環境中のダイオキシン類が魚食性鳥類であるカワウへ移行・蓄積し、それが個体群の増殖率(内的自然増加率)へ及ぼす影響を推定するモデルを構築した。そのうち、ダイオキシン類の卵中濃度と個体群の内的自然増加率との関係の部分について試算をした。ダイオキシン類曝露による内的自然増加率の低下分を見積もることにより、今後、個体群の絶滅確率という生態リスク評価に繋げることができ、それにより、生息地の減少等の他のリスク要因と比較をすることが可能となる⁵⁾。

【モデルの構築】

対象生物をカワウとしたのは、魚食性で水系生態系の頂点に位置し、留鳥であることから地域水系の汚染を反映するものと考えられ、また、高濃度の汚染が確認されている²⁾³⁾⁴⁾ためである。既存の情報を用い、東京湾の魚を餌とする東京都台東区の不忍池の個体群を想定してモデルを構築した。ここでは、ダイオキシン類の曝露は卵死亡率に影響し、その他のステージには影響しないと仮定した。モデルは以下の2つの部分から成る。

曝露評価

環境中のダイオキシン類を取り込んだ魚を採餌することによりカワウにダイオキシン類が蓄積し、卵中濃度に反映することを記述する部分である。環境中濃度の経時変化として東京湾の底質

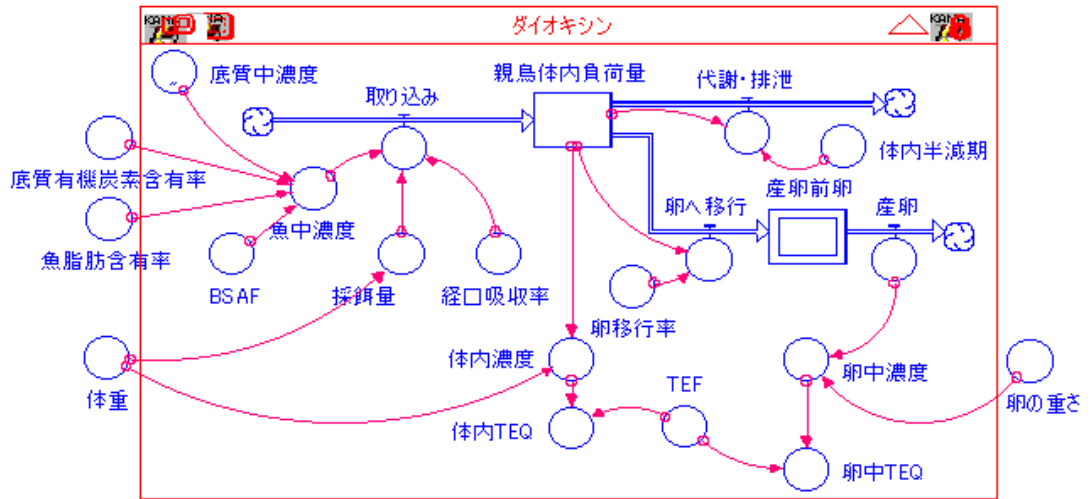


図1 曝露評価時系列シミュレーションモデル

コアサンプルの調査結果をインプットとする時系列シミュレーションモデルを、STELLA Research(High Performance Systems, Inc.)により構築した(図1)。環境中濃度と関係付けるこの部分の意義は、環境中濃度の将来の予測値が得られれば予察的に利用できることである。関係式等を表1に示す。

影響評価

表1 曝露評価時系列シミュレーションモデル中の主な関係式等

項目	記号	単位	関係式等
親鳥体内負荷量	A	pg/個体	$A(t)=A(t-dt)+(I-EI-Eg) \times dt$
取り込み	I	pg/個体/年	$I = \text{採餌量} \times \text{魚中濃度} \times \text{経口吸収率}$
代謝・排泄	EI	pg/個体/年	$EI=A \times (\ln 2 / \text{体内半減期})$
卵へ移行	Eg	pg/個体/年	$Eg=A \times k \times \text{年平均産卵数}$
卵移行率	k		卵中脂肪量 / 体内脂肪量、と仮定
産卵前卵	B	pg/個体	$B(t)=B(t-dt)+(Eg-L) \times dt$
産卵	L	pg/個体/年	1回/年、産卵前卵Bを排出

時間単位は年, dt(delta time, 計算の間隔)は1/365年

表2 影響評価のLeslie行列モデルで用いたパラメーター・仮定

項目	記号	単位	内容	参考文献
繁殖開始年齢		歳	2歳	8
最高寿命		歳	18歳	9
年齢別生存率	p_x		$p_1=0.847, p_2=p_3=\dots=0.864$	10
ベースライン内の自然増加率	r	/年	0.268. 1974-79年の個体数より推定	11
ベースライン純出生数	f	/年	0.93. $f_1=0, f_2=f_x=const.$ の仮定と1歳までの残存率0.738から計算	7, 10
卵死亡率	$m(c)$	%	$m(c) = 0.067 \times \text{卵中TEQ} + 13.1$	6
卵中濃度cの純出生数	f'	/年	$f' = f \times \{1 - m(c)\}$ と仮定	

卵中濃度の上昇による卵死亡率の上昇という用量 - 反応関係⁶⁾と個体群動態理論により、卵中濃度と個体群の内的自然増加率を関係付ける部分である。まず、ベースラインとする内的自然増加率 r を個体数の密度が低く個体群が急速に増殖しているときの個体数の経

年変化から推定し、また、年齢別期間生存率 p_x を識別個体の残存率から推定した。それらをもとにベースラインの純出生数 f (雌1個体当たりが生産する新生雌個体のうち最初のセンサスまで生き残る個体数の平均。ここでは繁殖開始年齢以降、年齢 x によらず一定と仮定。) を計算し、Leslie 行列を求めた。Leslie 行列は、年齢構成をもつ個体群において時刻 t に年齢 x にある個体数を $N_{x,t}$ とし、その年齢別個体数を表すベクトルを n_t

$$\begin{pmatrix} N_{1,t+1} \\ N_{2,t+1} \\ \vdots \\ N_{\omega-1,t+1} \\ N_{\omega,t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1 & f_2 & \dots & \dots & f_{\omega-1} & f_{\omega} \\ p_1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & p_{\omega-2} & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & p_{\omega-1} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_{1,t} \\ N_{2,t} \\ \vdots \\ N_{\omega-1,t} \\ N_{\omega,t} \end{pmatrix}$$

$$n_{t+1} = M n_t$$

とすると、右のように表せる推移行列 M のことである⁷⁾。卵中濃度 c の卵死亡率を $m(c)$ とすると、そのときの純出生数は $f' = f \times \{1 - m(c)\}$ となると仮定し、その曝露下の内的自然増加率 r' を Leslie 行列の最大固有値の自然対数として計算した。不忍池の個体群の動態は詳細に記録されており⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾、ここでは、関東地方に不忍池以外のコロニーがなく指数関数的な増殖が記録されている1974~1979年の個体数から、この集団のベースラインの内的自然増加率を求めた。しかし、人間による繁殖抑制がなくなり急速に増殖していた1970年代は、汚染レベルが現在よりも高かった時期と重なっている。すなわち、[ダイオキシン類曝露による内的自然増加率の低下分] [繁殖抑制がない時の内的自然増加率]という仮定を置いている。

【試算結果】

影響評価の部分について試算をした。卵中濃度と内的自然増加率の関係を図2に示した。卵中濃度と卵死亡率の関係が回帰式として報告されており⁶⁾、ここでは100 TEQ pg/g wet wt.ごとに計算した値をプロットした。また、東京と青森のカワウ卵の濃度⁴⁾でそれぞれ計算した値も示した。

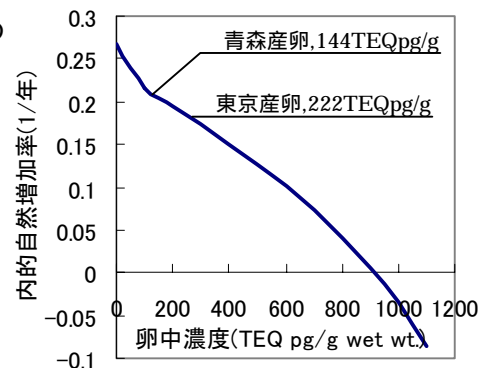


図2 卵中濃度と内的自然増加率の関係

ベースラインについての先の仮定のもとで、個体群が増殖しなくなる内的自然増加率が0となる卵中濃度は916 TEQ pg/g wet wt.、また、現在の東京の汚染レベル 222 TEQ pg/g wet wt. (n=5)では内的自然増加率はベースラインの約70%になると推算された。

【謝辞】

本研究は科学技術振興事業団の戦略的基礎研究推進事業(CREST)の支援のもとに推進された。ここに謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 環境庁 (1999) 野生生物のダイオキシン類蓄積状況等調査結果
- 2) 長谷川淳, 松田宗明, 河野公栄, 脇本忠明, 綿貫豊 (1999) 第8回環境化学討論会講演要旨, 150-151.
- 3) 井関直政, 益永茂樹, 中西準子 (1999) 第33回日本水環境学会講演要旨集, 111.
- 4) 井関直政, 益永茂樹, 中西準子 (1999) 第8回環境化学討論会講演要旨, 148-149.
- 5) Iwasa, Y., Hakoyama, H., Nakamaru, M., Nakanishi, J. (2000) Population Ecology, 42, 73-80.
- 6) Tillitt, D.E., Ankley, G.T., Giesy, J.P., et al. (1992) Environmental Toxicology and Chemistry, 11, 1281-1288.
- 7) Caswell, H. (1989) Matrix Population Models, Sinauer Associates, Sunderland, MA, 5-20 pp.
- 8) 福田道雄 (1995) 1995年度日本鳥学会大会プログラムおよび講演要旨集, 20.
- 9) del Hoyo, J. et al. eds. (1992) Handbook of the Birds of the World Vol.1, Lynx Edicions, Barcelona, 344pp.
- 10) 福田道雄 (1981) どうぶつと動物園, 33, 368-373.
- 11) 福田道雄 (1992) カワウ *Phalacrocorax carbo hanedae* の調査結果報告書, 東京都恩賜上野動物園, 東京, 64-70pp.
- 12) 成末雅恵, 福田道雄, 福井和二, 金井裕 (1997) Strix, 15, 95-108.

【キーワード】 ダイオキシン類、カワウ、個体群、モデル、生態リスク