

陸上生態系における猛禽類に対するダイオキシン類の生態リスク評価に関する研究 —オオタカを例にして—

益永・中井&松田研究室 高山勇策

1. 緒言

環境中に放出されたダイオキシン類を含む残留性有機汚染化学物質 (Persistent Organic Pollutants: POPs) は土壌・底質に移行し、生態系食物網を通じて高次栄養段階生物に蓄積していることが知られている。

村田 (2003)¹⁾ によって沿岸性の魚食性鳥類に対する生態リスク評価が行われているが、陸上生態系の頂点に立つ猛禽類に対する定量的な生態リスク評価は行われていない。本研究では、既往研究^{1), 2)} で用いられている手法を用い、猛禽類 (オオタカ) に対するダイオキシン類の生態リスク評価を試みた。具体的には、回避したい毒性影響を卵の死亡とし、個体レベルのリスク判定・個体群レベルのリスク判定を行い、オオタカの個体群存続性を最終的な評価エンドポイントとした。

2. 方法

データが比較的多いオオタカを評価対象生物に設定した。オオタカ卵のダイオキシン類実測データが入手できないため、これを推定するために以下 (a) (b) (c) の実測データセットを用意した。それぞれの項目について、TEF (bird) > 0 である 29 コンジェナーについて幾何平均・幾何標準偏差を算出した。

実測データセット: (a) オオタカの成鳥筋肉中濃度の実測値: 本研究室で測定されたデータ (9 羽)^{3) 4)}、環境省が測定したデータ (1 羽)⁵⁾ を合わせ、体内濃度データとした。(b) 餌生物中の体内濃度の実測値: 本研究室で測定されたアオバト・キジバト・スズメ・トラツグミ・ヒヨドリ・ムクドリ・ハシブトカラス・ドバト 2 羽⁴⁾、環境省測定データ (ドバト 15 羽)⁵⁾ を合わせ、餌生物の体内濃度データとした。(c) 陸上猛禽類の卵中濃度の実測値: 環境省データ (クマタカ 7 個)⁵⁾ を合わせ、卵中濃度データとした。

餌生物濃度推定: Rutz et al. (2006)⁶⁾ によるヨーロッパにおける食性情報を元に、オオタカに捕食される実測データセット (b) の餌の割合を再構成し、その濃度を餌生物濃度 (b') とした。

BMF (餌生物→卵の生物蓄積係数) の推定: 生物蓄積係数は (a) を (b') で割ることで求められる。Crystal Ball 2000 を用いて 1 万回モンテカルロシミュレーションを実施し、各コンジェナーに対しこれを求めた。オオタカから卵への換算比も (c) を (a) で割って同様の手法で求めた。餌生物→オオタカ体内濃度→卵濃度という流れを推定するために、以上 2 つのシミュレーション結果を乗じ、同様の操作によって以下の式中の BMF (餌生物濃度→卵濃度) を各コンジェナーに対し推定した。

卵中濃度の推定: 以下の式にしたがい、TEFのある 29 コンジェナーごとに C_{intake}^i の幾何平均・幾何標準偏差、 BMF_i の幾何平均・幾何標準偏差、 L_{egg} の算術平均・標準偏差を用いて 1 万回のモンテカルロシミュレーションを実施し、オオタカの卵中濃度 TEQ_{egg} を推定した。

$$TEQ_{egg} = \sum_{i=1}^{29} C_{intake}^i \cdot BMF_i \cdot L_{egg} \cdot TEF_{bird}^i \times 0.001$$

ここで、 TEQ_{egg} : オオタカ卵中濃度 (湿重量ベース) [ng-TEQ/g-egg]、 C_{intake}^i : 餌生物のコンジェナー_i 濃度 (脂肪重量ベース) [pg/g-fat]、 BMF : コンジェナー_i の生物蓄積係数 ((卵中濃度/体内濃度) × (体内濃度/餌生物濃度))、 L_{egg} : 卵の脂肪含有率 [g-egg-fat/g-egg]、 TEF_{bird} : コンジェナー_i の毒性等価係数 (鳥類用)

算出したオオタカの卵中ダイオキシン類濃度の総 TEQ 値の幾何平均・幾何標準偏差を用い、リスク判定 I・II・III (個体レベル、個体群レベル) を行う。

I ハザード比評価: 個体レベルの生態リスク評価として、卵中濃度と卵の死亡に関する TRV 比 (ハザード比) を用い、比が 1 を超えるか超えないかで個体レベルのリスク判定を行う。ハザード比 = C_{egg}/TRV 、ここでの TRV [ng-TEQ/g-egg] はハクトウワシより 0.21 とした²⁾。

II 卵死亡リスク評価: 卵中ダイオキシン類濃度の確率密度分布 E(C) と卵死亡率に関する用量 - 反

応関係（感受性分布）を考慮し、卵死亡率を表す。卵死亡リスク α は $E(C)$ と鳥の卵中ダイオキシン類濃度に対する卵死亡率の累積確率密度分布 $T(C)$ の重なり合った部分を計算する。

$$\text{卵死亡率} = \alpha = \int E(C)T(C)dc$$

$T(C)$ として、アメリカチョウゲンボウに対する幾何平均 6.1、幾何標準偏差 22.4 を採用した。

III 個体群リスク評価： Krüger(2007)⁷⁾ のレスリー行列より年齢構成行列モデルの生存率・繁殖率を得た。ダイオキシン類は繁殖率 f のみに影響を与えると仮定した。暴露影響下における繁殖率 f_{exp} は、バックグラウンド繁殖率 f 、卵死亡率 α を用いて $f_{exp} = f(1-\alpha)$ とした。個体群増加率が最大の正の実根の固有値 λ を求め、この時、 $\lambda > 1$ ならば、増加傾向、 $\lambda < 1$ ならば減少傾向と判断した。

結果

I ハザード比評価： 卵中濃度推定のシミュレーション結果を図 1 に、ハザード比評価結果を表 1 に示す。ハクトウワシの毒性参照値 (TRV) を用いたオオタカの個体レベルのハザード比は 1 以上になり、現状の卵中濃度では有害な影響が出ている可能性があるとして推定される。

II 卵死亡リスク評価： 現在の汚染レベルでのオオタカ卵の死亡率は 30%と推定された (表 2)。

III 個体群リスク評価： 現状の汚染レベルでは、 λ 値は 0.94 であった

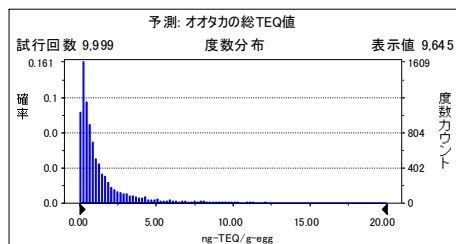


図 1. オオタカ卵中ダイオキシン類濃度(TEQ)

表 1. リスク判定 I 結果

オオタカ推定卵中ダイオキシン類濃度 [ng-TEQ/g-egg]		毒性参照値 (TRV) [ng-TEQ/g-egg]	ハザード比
幾何平均 (C_{egg-GM})	幾何標準偏差	0.21	C_{egg-GM}/TRV
1.03	4.23		

表 2. リスク判定 II の結果の確率分布

物种種	卵中ダイオキシン類濃度		卵死亡率に関する用量-反応関係		卵死亡率 %
	幾何平均 [ng-TEQ/g-egg]	幾何標準偏差	幾何平均(LD ₅₀) [ng-TEQ/g-egg]	幾何標準偏差	
オオタカ	1.03	4.23	6.1	22.4	30

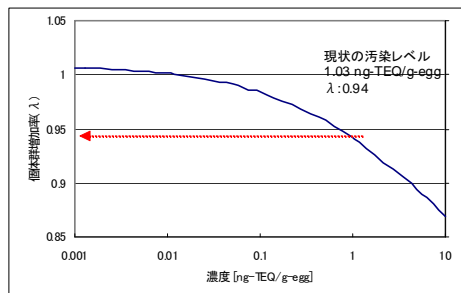


図 2. リスク判定 III の結果 卵中濃度と λ の関係

4. 考察

個体レベル生態リスク評価からは、現状の汚染レベルでは、ダイオキシン類はオオタカに非常に大きな悪影響を与えているという結果になったが、このことは実測データの幾何標準偏差の大きさが影響していると考えられる。オオタカの卵中濃度を推定するにあたり、実測データセットの幾何標準偏差が大きくなるほど、推定濃度の分布幅は大きくなってしまふからである。現実の母集団を反映した、極端なばらつきのない環境データセットの収集が求められる。

アメリカチョウゲンボウを使った卵死亡率の推定は、実際のオオタカの卵死亡率よりも過大評価であると考えられる。本研究の生態リスク評価では、オオタカは減少傾向であるという結果になったが、実際のオオタカにおいてはそのような報告はされていない。オオタカは生態系の上位種であるので、そもそも λ がそれほど高い種ではないことが予想され、現在オオタカの個体群が減少していないとしたら、高濃度においても感受性が低い種であるのかもしれない。たとえば、Mañosa et al. (2003)⁸⁾ は p,p'-DDE に対するオオタカ卵の no effect level を 1000~2000 [ng/g-wet] と報告しており、化学物質に対する感受性の低さをうかがわれる。オオタカは生物学的にも毒性学的にも研究数が不十分であり、今後も検討を続ける必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 村田麻里子 (2003) 博士論文. 2) 中西準子・小倉 勇 (2008) コプラナーPCB. 3) 鈴木和也 (2008) 横浜国大. 4) 吉川穂久人 (2007) 修士論文. 5) 環境省 (1999, 2001, 2002) 平成 10・12・13 年度ダイオキシン類の野生生物調査結果. 6) Rutz et al. (2006) Studies in Avian Biology, **31**, 158-197. 7) Krüger (2007) Oecologia, **152**, 459-471. 8) Mañosa et al. (2003) Environmental Pollution, **122**, 351-359