

# 自動車衝突確率モデルを用いたガン類・ハクチョウ類のロードキル発生リスクの定量評価

札幌開発建設部 千歳道路事務所 ○安倍 大輔  
札幌開発建設部 千歳道路事務所 坂 憲浩  
パシフィックコンサルタンツ株式会社 森元 愛和

千歳道路事務所では、重要な動植物に配慮しながら工事を進めている。事業箇所周辺に飛来するガン類・ハクチョウ類においては、事業実施に向けロードキルが懸念された。今回、風力発電施設で用いられている鳥類の衝突確率モデルを参考に、ガン類・ハクチョウ類のロードキル発生リスクを定量的に評価したことから、今後の環境保全対策に向けた判断指標の一つに用いる可能性について報告を行う。

キーワード：ガン類・ハクチョウ類、自動車衝突確率、自然環境

## 1. はじめに

希少猛禽類を含む鳥類の死因としては、自動車との衝突によるロードキル、風力発電施設や飛行機との衝突によるバードストライク、列車との衝突によるレールキルなどが挙げられる。そのため、各種建設事業の実施にあたっては、対象種に応じたロードキルやバードストライク等を防ぐ環境保全対策が進められている。当事務所の工事実施箇所においては、周辺の水田や遊水地、湖沼等において過年度よりガン類・ハクチョウ類が採餌場・休息場等に利用している。そのため、本工事完成後に採餌場・休息場が分断され、ロードキル発生リスクが高まると考えられた。

防鳥ポール等の保全対策工設置については、保全対象種である鳥類の建設予定地周辺の利用状況や飛翔高度など、現地確認状況に基づいた定性的な評価の積上げによってなされてきた。

本稿では、風力発電施設において確立されている鳥類の衝突確率の算出方法を参考に、ガン類・ハクチョウ類のロードキル発生リスクを定量的に評価する。さらに、保全対策工の設置有無等の判断指標の一つとして利用することで、今後の道路計画への展開について検討を行うものである。

## 2. 対象種の選定

本試算における対象種は、本工事箇所において過年度（平成18年度、25年度、26年度）に実施されたガン類・ハクチョウ類のモニタリング調査結果から、計画路線上

の横断が確認されたマガン (*Anser albifrons*)、ヒシクイ (*Anser fabalis*)、コハクチョウ (*Cygnus columbianus*)、オオハクチョウ (*Cygnus cygnus*) 等のうち、低空での飛翔が確認されたヒシクイ、コハクチョウとする (図-1)。

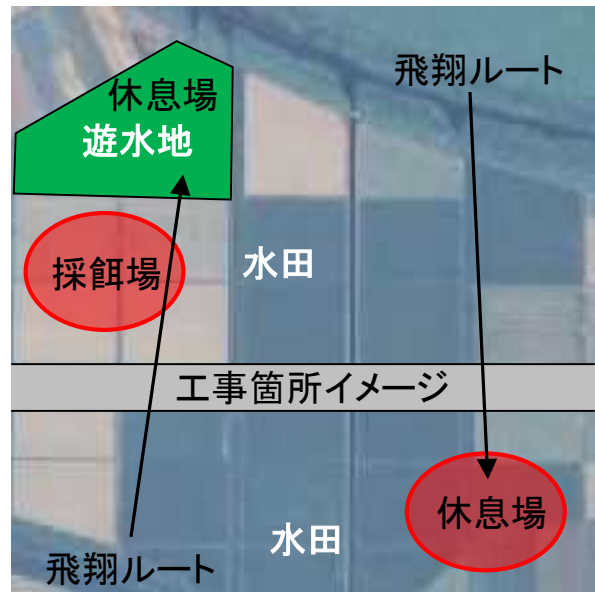


図-1 採餌場・休息場分断イメージ (上図の位置は、事業箇所等の特定を防ぐため架空のものである)

## 3. 自動車衝突確率の算出方法

風力発電施設における鳥類の衝突確率モデルについては、環境省 (2011) <sup>1)</sup>、由井・島田 (2013) <sup>2)</sup>、Band et al (2007) <sup>3)</sup>、杉本・松田 (2008) <sup>4)</sup> 等が知られている。これらのうち、風力発電施設においてガンカモ類の衝突

確率を算出しているBand et al(2007)のモデルを基本として、ガン類・ハクチョウ類が自動車に衝突する確率を算出するモデルを検討し、本工事箇所での対象種（ヒシクイ、コハクチョウ）の自動車衝突確率を算出した。また、森元ら(2015)<sup>5)</sup>では環境省(2011)を基本として希少猛禽類の自動車衝突確率を算出するモデルを報告しているが、このモデルでは環境省(2011)と同様にガン類・ハクチョウ類に対しても自動車衝突確率を算出することが可能である。森元ら(2015)のモデルを用いて算出した結果も示し、計算モデルの違いによる自動車衝突確率を検討した。

【本稿で用いた自動車衝突確率の計算モデル】

- ・Band et al(2007)を基本とした計算モデル
- ・環境省(2011)を基本とした森元ら(2015)の計算モデル

(1)Band et al(2007)を基本とした自動車衝突確率

Band et al(2007)のガン類・カモ類が風車に衝突する確率は、年間のブレード（羽根）を通過する個体数に、ブレードへの接触率と回避率を乗じて算出される。また、年間のブレードを通過する個体数の算出方法を、探餌や旋回など飛行方向が多様な猛禽類と、ねぐらと餌場の往復など飛行方向が直線的なガンカモ類の別に示している。ガンカモ類を対象とする場合、衝突危険域の断面積比（本稿の P'に相当）は、風車の回転面積が風車列の幅と高さからなる評価対象範囲に占める割合としている。年間に評価対象範囲を通過する個体数（本稿の Y'に相当）は、調査時間当たりの評価対象範囲の通過個体数を、対象種が調査地に滞在する時間で割り戻して算出している。年間のブレードを通過する個体数は、この衝突危険域の面積比と、年間に評価対象範囲を通過する個体数の積により算出される。

対象種が風車の回転面を通過する際にブレードに当たる確率である接触率（本稿の Tに相当）は、対象種がブレードを通過する時間当たりのブレードの回転範囲が風車全体の回転範囲に占める割合から算出しており、猛禽類とガンカモ類で共通の方法としている。

本稿ではこのモデルを基本とし、自動車衝突確率(T<sub>N</sub>)を、計画地に占める衝突危険域の断面積比(P')、接触率(T)、年間飛行頻度(Y')より自動車衝突確率を算出するモデルを試行した。ただし、道路を対象とする本稿では、ロードキルは道路の存在と走行する車両に起因すると考え、衝突危険域の断面積比(P')は、車両と道路を合わせた高さからなる衝突危険域の断面積が、評価対象種が飛行する可能性がある断面積に占める割合とした(図-2)。接触率(T)は、自動車衝突確率の算出用に検討された次節に示す環境省(2011)を基本とした森元ら(2015)による方法で算出される値を用いた。

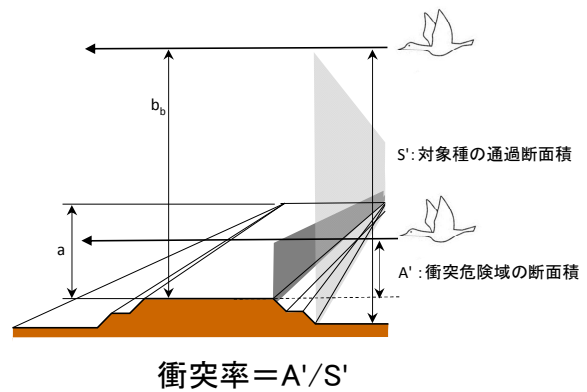


図-2 Band et al(2007)を基本とした衝突率の概念

a)計画地に占める衝突危険域の断面積比：P'

①評価対象区域の通過断面積：S' (m<sup>2</sup>)

評価対象種が通過する可能性がある評価対象道路の断面域を設定する。評価対象道路の長さ、評価対象地で確認された最高の飛行高度からなる断面域に対象種が進入する可能性があると考え、下記のとおり設定した。

$$S' = a \times b_b$$

a：評価道路長さ、b<sub>b</sub>：対象種の飛行高さ上端

②衝突危険域の面積：A' (m<sup>2</sup>)

評価対象道路の長さ (a (m))、評価道路高さ (c (m))：ここでは、盛土道路部分と走行する車両も含めたより、衝突危険域の面積 A'を設定する。

$$A' = a \times c$$

a：評価道路長さ、c：評価道路高さ

③衝突危険域の面積比：P'

衝突危険域が評価対象区域に占める断面積比 P'を得る。

$$P' = A' / S'$$

b)年間飛行頻度：Y' (個体/滞在期間)

対象種が評価対象道路の断面域を通過する頻度 (Y') を設定する。観察日数 (d (日)) と滞在期間 (d<sub>n</sub> (日)) により、観察された評価対象道路を通過した回数を滞在期間あたりに換算する。

$$Y' = M_c \times d_n / d$$

M<sub>c</sub>：評価対象道路を通過した個体数、

d<sub>n</sub>：対象種の調査区域への滞在期間、

d：対象種の観察日数、

c)自動車衝突確率：T<sub>N</sub> (個体/年)

衝突危険域の断面積比 (P')、年間飛行頻度 (Y')、接触率 (T)、回避率 (A<sub>v</sub>)より年間の滞在期間あたりの衝突個体数を得る。

ここでの回避率は (A<sub>v</sub>)、コハクチョウ、ヒシクイとも風力発電施設の回避率と同様とし 99%とした<sup>1)</sup>。

$$T_N = Y' \times P' \times T \times (1 - A_v)$$

(2)環境省(2011)を基本とした森元ら(2015)の自動車衝突確率

環境省(2011)の鳥類が風車に衝突する衝突率は、風車

回転面積比 (P)、接触率 (T)、衝突危険高度飛翔率 (Q)、年間飛翔頻度 (Y)、風車稼働率、回避率 (A<sub>v</sub>) から算出されている。風車回転面積比 (P) は、風車の回転面積が調査区域面積に占める割合である。接触率 (T) は、ブレードを垂直な回転面とみなした時に、鳥類がブレードを通過する時間あたりの回転面積がブレードの全体の回転面積に占める割合から算出されている。衝突危険高度飛翔率 (Q) は、全軌跡数のうち衝突危険高度を飛翔する軌跡数の割合か、全軌跡長のうち衝突危険高度を飛翔する軌跡長の割合として求められている。年間飛翔頻度 (Y) は、調査時の飛翔頻度を越冬期間で割り戻して算出されている。

この方法を基本とした森元ら (2015) も、自動車衝突確率 (T<sub>N</sub>) は a)～e) に示すとおり、計画地に占める衝突危険域の面積比 (P)、接触率 (T)、衝突危険域の利用率 (Q)、年間飛翔頻度 (Y) より算出されている。

ただし、評価範囲に進入した個体が衝突危険域を飛翔する確率を、風車を対象としている環境省 (2011) では風車の回転面積比 (P) で算出するのに対し、道路を対象とした森元ら (2015) では、道路では衝突危険エリアが長距離にわたって存在し、また道路幅によって衝突リスクが変化する特徴から、衝突危険域が評価対象範囲に占める平面の面積比を用いて算出している (図-3)。また、衝突危険域に進入した個体がバードストライクに遭う確率である接触率 (T) を、風車を対象としている環境省 (2011) ではブレードの回転面積比で算出するのに対し、道路は自動車の速度や交通量によって衝突リスクが変化する特徴から、森元ら (2015) では通過する自動車が衝突危険域を占める長さの割合で算出している。

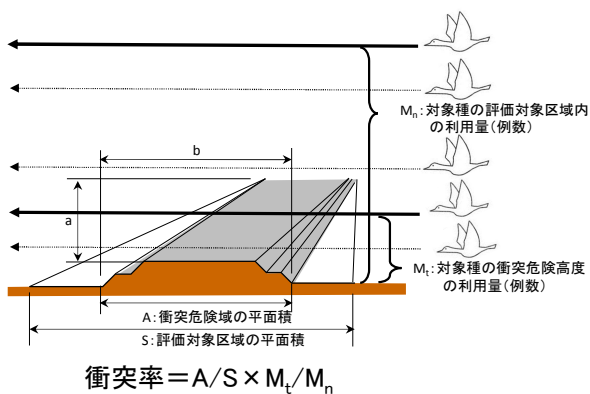


図-3 環境省(2011)を基本とした森元ら(2015)の衝突率の概念

#### a) 計画地に占める衝突危険域の面積比 (P)

衝突危険域が評価対象区域に占める面積比Pを得る。

$$P = A/S$$

$$A = a \times b$$

A: 衝突危険域の面積(m<sup>2</sup>)、

S: 評価対象区域の面積(m<sup>2</sup>)、

a: 評価対象道路の長さ(m)、

b: 評価対象道路の幅(m)

#### b) 接触率 (T)

衝突危険域を対象種が通過する時間あたりの自動車の移動距離及び車両長さの分が、車道を横断する対象種にとって壁になると考え、以下により接触率として得る。

$$T = a_c/a$$

a<sub>c</sub>: 衝突危険域通過時間あたりの自動車長(m)、

a: 評価対象道路の長さ(m)

$$a_c = (v_c \times t_{l_{CL}}) \times n_L + (v_c \times t_{l_{CS}}) \times n_S$$

※ただし、a<sub>c</sub> < a ならば a

l<sub>CL</sub>: 大型自動車長(m)<sup>6)</sup>、l<sub>CS</sub>: 小型自動車長(m)<sup>6)</sup>、

v<sub>c</sub>: 自動車走行速度(m/s)<sup>7)</sup>

$$n_L = t \times q \times r \times p / 12/60/60$$

$$n_S = t \times q \times r \times (1-p) / 12/60/60$$

n<sub>L</sub>: 衝突危険域通過時間あたり大型車通過台数、

n<sub>S</sub>: 衝突危険域通過時間あたり小型車通過台数、

q: 24時間交通量(台/日)<sup>8)</sup>、r: 昼夜率<sup>8)</sup>、

p: 大型車混入率<sup>8)</sup>

$$t = L/v_b$$

L: 衝突危険域の通過距離(m)、

v<sub>b</sub>: 対象種の飛翔速度(m/s)<sup>9)</sup>

$$L = w/\tan\theta + br/\sin\theta$$

※ただし、w/tanθ < l ならば l、br/sinθ > a ならば a

θ: 道路への進入角度(deg)、

w: 対象種の翼長さ(m)<sup>10)</sup>、

l: 対象種の全長(m)<sup>10)</sup>、b: 車道幅(m)

#### c) 衝突危険域の利用率 (Q)

対象種が評価対象区域内を利用する全体量のうち、衝突危険高度を利用する利用率を得る。

$$Q = M_t/M_n$$

M<sub>n</sub>: 対象種の評価対象区域内の利用量(例)、

M<sub>t</sub>: 対象種の衝突危険高度の利用量(例)

#### d) 年間飛翔頻度 (Y)

対象種が評価対象区域内に存在する頻度を得る。

$$Y = M_t' \times d_n / d$$

M<sub>t</sub>' : 評価対象区域内の確認個体数(個体)、

d<sub>n</sub>: 対象種の調査区域への滞在期間(日)、

d: 対象種の観察日数(日)

#### e) 自動車衝突確率 (T<sub>N</sub>)

衝突危険域の面積比 (P)、接触率 (T)、衝突危険域の利用率 (Q) より、対象とする対象種が評価対象区域を走行する自動車に衝突する衝突率を得る。

$$T_N = Y \times C \times (1 - A_v)$$

Y: 年間飛翔頻度、C: 衝突率、A<sub>v</sub>: 回避率

$$C = P \times T \times Q$$

P: 衝突危険域の面積比、T: 接触率、

Q: 衝突危険域の利用率

## 4. 自動車衝突確率の算出結果

自動車衝突確率の算出結果は、表-1、表-2 に示すと



おりである。

Band et al (2007)を基本とした計算モデルでは、ヒシクイで年間 0.0150 個体 (約 67 年に一度の衝突確率)、コハクチョウで年間 0.0187 個体 (約 54 年に一度の衝突確率) となった。環境省 (2011)を基本とした森元ら (2015)の計算モデルでは、ヒシクイで年間 0.00265 個体 (約 377 年に一度の衝突確率)、コハクチョウで年間 0.00364 個体 (約 275 年に一度の衝突確率) となった。

Band et al (2007)を基本としたモデルによる数値のほうが高い衝突確率となったが、道路が対象種のねぐらと採餌場の間に存在し、対象種が道路を横断して飛翔する状況が見られる本工事箇所では、このモデルによる結果で発生リスクを評価すべきと考える。しかし、ヒシクイ及び、コハクチョウの平均寿命 (約 15~20 年) を考慮すれば、本工事箇所におけるガン類・ハクチョウ類の自動車衝突確率は低い状況であると考えられ、保全対策の必要性は低いと判断できる。

## 5. 考察

### (1) 本試算における今後の判断指標の可能性

本試算の結果、本工事箇所においてはガン類・ハクチョウ類におけるロードキル発生リスクは低い状況であると評価した。

自動車衝突確率を定量的に示すことにより、環境アセスメント手続きの配慮書における概略設計段階から希少猛禽類、ガン類・ハクチョウ類に対して、自動車衝突確率の算出結果をルート選定や対策必要箇所の優先順位の判断指標の一つとすることが考えられる (図-4)。

表-1 Band et al (2007)を基本とした算出結果

パラメータ	ヒシクイ	コハクチョウ	単位	記号
評価道路長さ	14,600	14,600	m	a
評価道路高さ	10	10	m	c
対象種の飛翔高さ上端	200	200	m	b <sub>u</sub>
評価対象区域の通過断面積	2,920,000	2,920,000	m <sup>2</sup>	S'
衝突危険域の面積	146,000	146,000	m <sup>2</sup>	A'
計画地に占める衝突危険域の断面積比	0.0500	0.0500	—	P'
評価対象道路を通過した個体数	261	422	個体	Mc
対象種の調査区域への滞在期間	122	122	日	d <sub>n</sub>
対象種の観察日数	48	48	日	d
年間飛翔頻度	663	1,073	個体/滞在期間	Y'
大型自動車長	12	12	m	l <sub>CL</sub>
小型自動車長	4.7	4.7	m	l <sub>CS</sub>
自動車走行速度	22.2	22.2	m/s(80km)	v <sub>C</sub>
24時間交通量	23,500	23,500	台/日	q
昼夜率	1.28	1.28	—	r
大型車混入率	0.351	0.351	—	p
対象種の飛翔速度	15.8	20.0	m/s	v <sub>b</sub>
対象種の翼長さ	1.38	1.77	m	l
対象種の全長	0.83	1.20	m	w
車道幅	19.75	19.75	m	b <sub>c</sub>
接触率	0.0451	0.0348	—	T
衝突率	0.00226	0.00174	—	C
回避率	0.99	0.99	—	A <sub>v</sub>
滞在期間あたりの衝突個体数 (回避行動を考慮しない)	1.50	1.87	個体/滞在期間	T <sub>N</sub> '
滞在期間あたりの衝突個体数 (回避行動を考慮する)	0.0150	0.0187	個体/滞在期間	T <sub>N</sub>

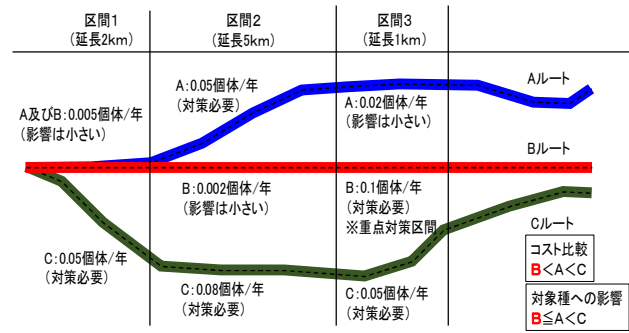


図-4 ルート選定・コスト比較 (鳥類の寿命が約30年 (0.033個体/年) とした場合のイメージ)

### (2) 今後の改善・検討内容

本試算では、防鳥ポールや防雪柵等のロードキル対策を行う場合は、その効果を定量的に示すことが可能であると考えられる (図-5)。

#### a) Band et al (2007)を基本とした計算モデルのロードキル対策後の計算式

衝突危険域の面積:  $A'$  (m<sup>2</sup>) は、評価対象道路の長さ (a (m))、評価対象道路高さ (c (m)) により設定する。そのため、評価対象道路の高さから防鳥ポールや防雪柵の高さを減じることにより、保全対策の効果を反映した検討を行うことができる。

$$A' = a \times (c - h)$$

a: 評価道路長さ、c: 評価道路高さ、

h: 保全対策高さ

#### b) 環境省 (2011)を基本とした森元ら (2015)の計算モデルのロードキル対策後の計算式

衝突危険域の利用率: Q は、対象種の衝突危険高度の利用量 ( $M_c$ )、対象種の評価対象区域内の利用量 ( $M_n$ ) により設定する。そのため、防鳥ポールや防雪柵等の保

表-2 環境省 (2011)を基本とした森元ら (2015)の算出結果

パラメータ	ヒシクイ	コハクチョウ	単位	記号
評価対象道路の長さ	14,600	14,600	m	a
評価対象道路の幅	25	25	m	b
道路幅	19.75	19.75	m	b <sub>c</sub>
評価対象区域の面積	7,496,350	7,496,350	m <sup>2</sup>	S
衝突危険域の面積	365,000	365,000	m <sup>2</sup>	A
計画地に占める衝突危険域の面積比	0.0487	0.0487	—	P
対象種の評価対象区域内の利用量	11	5	例	Mt
対象種の衝突危険高度の利用量	2	1	例	Mn
対象種の評価対象区域内の確認個体数	261	422	個体	Mt'
衝突危険域の利用率	0.1818	0.2000	—	Q
対象種の調査区域への滞在期間	122	122	日	d <sub>n</sub>
対象種の観察日数	48	48	日	d
年間飛翔頻度	663	1,073	個体/滞在期間	Y
大型自動車長	12	12	m	l <sub>CL</sub>
小型自動車長	4.7	4.7	m	l <sub>CS</sub>
自動車走行速度	22.2	22.2	m/s(80km)	v <sub>C</sub>
24時間交通量	23,500	23,500	台/日	q
昼夜率	1.28	1.28	—	r
大型車混入率	0.351	0.351	—	p
対象種の飛翔速度	15.8	20.0	m/s	v <sub>b</sub>
対象種の翼長さ	1.38	1.77	m	l
対象種の全長	0.83	1.20	m	w
車道幅	19.75	19.75	m	b <sub>c</sub>
接触率	0.0451	0.0348	—	T
衝突率	0.0003995	0.0003993	—	C
回避率	0.99	0.99	—	A <sub>v</sub>
滞在期間あたりの衝突個体数 (回避行動を考慮しない)	0.265	0.364	個体/滞在期間	T <sub>N</sub> '
滞在期間あたりの衝突個体数 (回避行動を考慮する)	0.00265	0.00364	個体/滞在期間	T <sub>N</sub>

全対策を行うことで、対象種の衝突危険高度の利用量を減じることにより、保全対策の効果を反映した検討を行うことができる。

$$Q = M_s / M_t$$

$M_s$  : 保全対策後における対象種の評価対象区域内の利用量(例)、

$M_t$  : 対象種の衝突危険高度の利用量(例)、

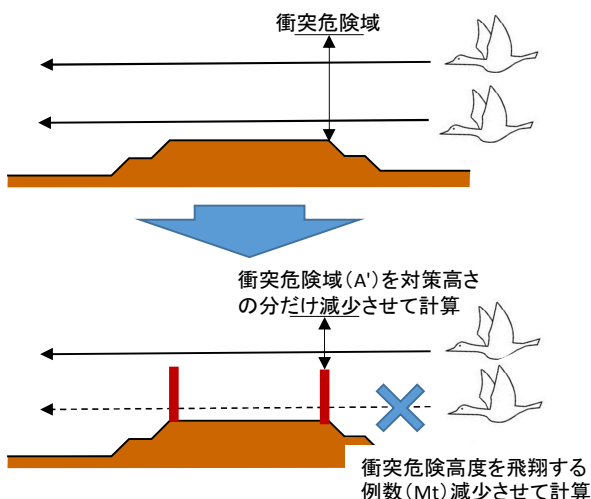


図-5 保全対策効果算定のイメージ

また、本試算により用いるパラメータや計算式で自動車衝突確率の算出結果に幅が出る。そのため、対象鳥類の確認状況に応じて、どのパラメータを用いるべきか（例えば低空飛行の割合を観察例数・飛行距離・飛行時間のどれを用いるか）、計算式や用いたパラメータによって異なる算出結果のうち、どの範囲の値で評価すべきかに留意が必要である（例えばガン類・ハクチョウ類の飛行経路を道路が分断しない場合は、Band et al(2007)を基本とした結果は過剰評価となる）。

## 6. おわりに

本報告では、ガン類・ハクチョウ類における自動車衝突確率の試算を行い、今後の活用方法を紹介した。当事務所では、今回の報告を踏まえ、ガン類・ハクチョウ類の環境利用状況の情報収集を行い、今後も必要に応じた環境配慮に努めていく所存である。

今回の自動車衝突確率の試算、並びに本報告のとりまとめに際して、帯広畜産大学名誉教授の藤巻裕蔵氏に貴重なご助言及びご教授を賜った。ここに記して、心より感謝の意を表する

## 参考文献

- 1) 環境省自然環境局野生生物課(2011)：鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き，平成 23 年 1 月
- 2) 由井正敏・島田泰夫(2013)：球体モデルによる風車への鳥類衝突数の推定法，総合政策 第 15 巻第 1 号 (2013)pp. 1-17.
- 3) Band W., M. Madders & D. P. Whitfield (2007) : Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. In de Lucas et al. (ed) Birds and Wind farms : Risk assessment and mitigation. pp259-275. Quercus. Madrid, Spain.
- 4) 杉本寛・松田裕之 (2008) : 風力発電におけるマガンの衝突リスク評価，日本生態学会第 55 回大会講演要旨 p202.
- 5) 森元愛和・石井宏章・山田浩行 (2015) : 希少猛禽類の自動車衝突確率モデルの試行-オジロワシを対象とした試算-, 土木学会第70回年次学術講演集.
- 6) 公益社団法人 全日本トラック協会.
- 7) 札幌開発建設部 千歳道路事務所管轄内における環境影響評価書より第3種第1級の設計速度を引用.
- 8) 平成22年度 全国道路・街路交通情勢調査 (道路交通センサス) 一般交通量調査 集計表.
- 9) Campbell, B. & Lack, E. 1985. A Dictionary of Birds. T&AD Poyser
- 10) 山溪カラー名鑑 日本の野鳥, 高野伸二 編, 株式会社山と溪谷社, 1985年9月