

特集：環境と GIS ◆

国総研版騒音・振動シミュレーター GIS と連携した希少猛禽類への建設事業影響予測評価システム

百瀬 浩* 松永忠久** 飯塚康雄*** 藤原宣夫****

1. はじめに

各種建設事業に伴い発生する騒音・振動は、大きな環境問題となっている。周辺地域住民だけでなく、最近ではクマタカ、オオタカ等の希少猛禽類の営巣活動に対する悪影響などが問題とされるケースが増えている。こうした問題に対処するためには、環境影響評価等の際に、現場で発生する騒音・振動の範囲や規模、影響の程度を客観的な根拠によって予測し、その結果をわかりやすく提示することが必要である。こうした情報により、事業の実施計画案、必要な保全措置などの検討が行ないやすくなるものと期待される。

今回開発した国総研版騒音・振動シミュレーターは、ダムや道路等の建設工事や供用に伴い発生する騒音・振動が、周辺地域に伝搬する状況を予測計算し、結果を表示するソフトウェアである。騒音影響の予測においては、人の聴感特性に対応した A 特性や C 特性の他、国総研の研究により明らかになった希少猛禽類の聴感特性で補正することも可能である。

本システムを利用することにより、事業計画区域内の猛禽類の営巣地付近における騒音・振動レベルを、事業の実施前に定量的かつ視覚的に把握することができる。本稿では、本システムの概要と活用法について述べることにする。

2. システムの概要

2.1 システムの構成

国総研版騒音・振動シミュレーター（以降本システムと呼ぶ）は、パソコン（Windows）上で動作するソフトウェアである。システムの概要を表-1に示す。騒音・振動の伝搬の予測計算を行う解析プログラムはモジュール化され、インターフェースなどを提供する本体プログラムとは分離しているため、本体プログラムを変更することなく、新しい解析モジュールを（DLL：ダイナミックリンクライブラリーとして）追加できる。また、



図-1 国総研版騒音・振動シミュレーターを用いた騒音の予測結果の画面表示例

表-1 システムの概要

システムの機能		機能の概要
騒音・振動伝搬予測計算機能	①予測条件の設定	【予測計算の対象となる空間情報の設定】 ・ 予測計算の対象となる空間の情報（標高、植生、地表面の状況、気象等）の設定を行なう。 【騒音・振動発生源に関わる情報の設定】 ・ 騒音・振動の発生源となる建設機械及び工事用車両等の配置、施行範囲等の設定を行なう。
	②予測計算の実行	【平面、断面、点についての予測計算】 ・ 騒音の平面的な分布、ユーザが指定した位置（点または断面）についての予測計算を行なう。 ・ 振動の平面的な分布、ユーザが指定した位置（点）についての予測計算を行なう。 【周波数重み特性の適用（騒音のみ）】 ・ 騒音の予測計算については、ユーザが指定した周波数重み特性による予測計算結果を算出する。
	③予測結果の表示	【予測結果の視角化】 ・ 騒音の平面的な分布、ユーザが指定した位置（点または断面）についての予測結果を視覚的に表示する。 ・ 振動の平面的な分布、ユーザが指定した位置（点）についての予測結果を視覚的に表示する。
システム構成の編集機能	④システム構成の編集	【騒音・振動発生に係る情報の編集、追加】 ・ 騒音・振動発生源である重機等の情報を、独立したデータベースとして管理し、データの編集及び追加を行なう。 【伝搬予測モデルの構成の編集、追加】 ・ 伝搬予測モデルを、独立したモジュールにより構成し、モジュール構成の編集及びモジュールの追加を行なう。 【周波数重み特性の編集、追加】 ・ 評価に用いる周波数重み特性（猛禽類の聴感特性等）を、独立したデータベースとして管理し、データの編集及び追加を行なう。

The NILIM Noise & Vibration Simulator - A GIS-Based System for Impact Assessments of Construction Works on Wildlife

予測に使用する騒音・振動の発生源情報、すなわち建設機械、工種（ユニット）別のA特性音響パワーレベルまたは代表スペクトルなどについても、ライブラリーとしてシステムに予め登録されているもののほか、ユーザーが必要に応じて登録できるようになっている。

2.2 GIS との連携

本システムの本体プログラムは、単体で動作するものと、GIS (ESRI 社の ArcGIS) の拡張機能として動作するものの2種類が用意されている。いずれの場合も、解析モジュールが利用するデータやその出力結果は、すべてテキスト形式で定義されているため、GIS が使えない環境でも騒音・振動の予測計算が可能となっている。また、もしGIS が利用可能な場合は、ユーザーは入力データの作成から予測結果の表示までのすべてを、GIS 上で一連の作業として効率良く行うことが可能である。

この場合、計算に必要な各種データは、GIS 画面上に表示されたレイヤーからメニューにより選択し、対話型インターフェースにより必要な条件設定を行う（図-2）。また、予測計算領域における猛禽類営巣地や保全対象集落、建設機械の稼働位置（稼働区域）や遮音壁の位置などの空間データは、GIS ソフトのデータ作成機能を利用して簡単に作成することができる。

2.3 予測計算結果の表示

本システムでは、GIS を利用したことにより、様々な空間情報と重ね合わせ表示ができることに加え、計画～設計～施工段階において対応が求められる建設工事による影響把握、保全対策検討を視覚的に行うために必要な表示機能を備えている。

(1) 騒音・振動の予測結果との重ね合わせ表示

本システムでは、騒音・振動の予測結果が、GIS 上で表示できるデータに自動的に変換される。ユーザーは、図-1 に示したように、騒音レベル及び振動レベルの平面分布と保全対象集落などの空間情報とを即座に重ね合わせることができ、建設事業による影響の程度や遮音壁などの保全対策の効果を把握することができる。

(2) 鉛直断面での予測結果表示

本システムでは、騒音・振動発生源と予測地点間における騒音レベル及び振動レベルの距離減衰分布が表示可能である（図-3）。また、騒音の計算においては、任意の鉛直断面において、地形の変化を考慮した騒音分布の予測を行うことができ、騒音レベルの鉛直断面分布として表示することができる（図-4）。

(3) 時系列表示

本システムでは、工事工程に応じた複数の予測

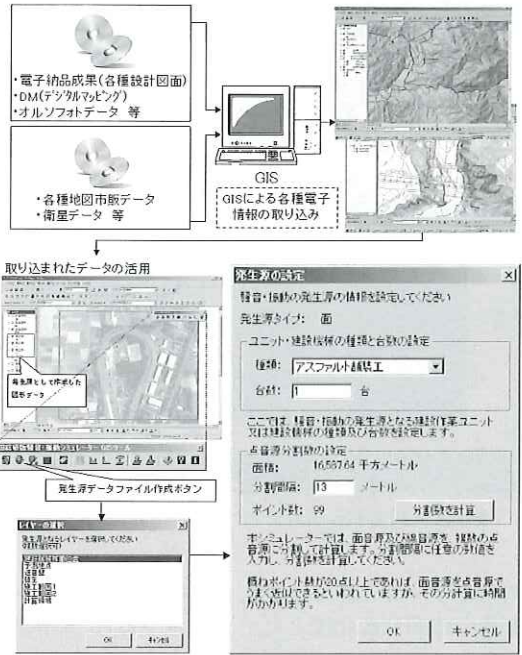


図-2 GIS上に統合された各種データの活用による解析データの作成イメージ(上)と、予測条件設定の画面(下)

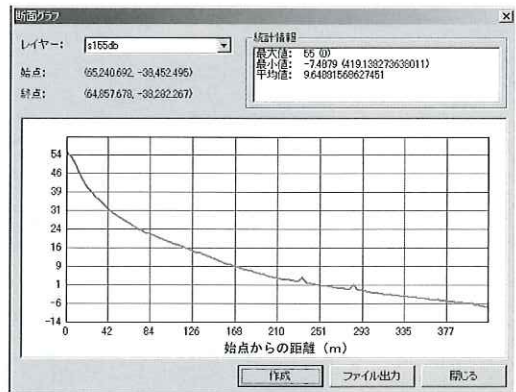


図-3 騒音レベルの距離減衰表示

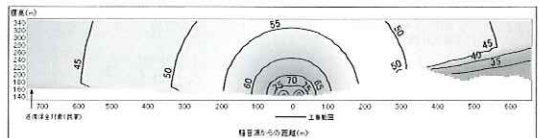


図-4 騒音レベルの鉛直断面分布計算結果の表示例。ユーザーはGIS上で鉛筆のようなツールを使って断面の設定位置を指定し、ボタンを押すだけで、こうした予測結果を得ることができる。

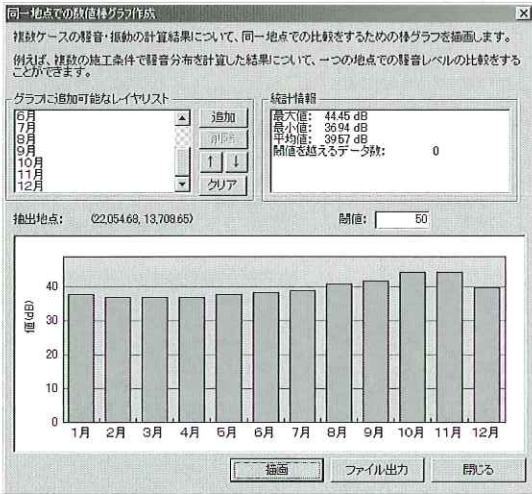


図-5 猛禽類営巣地における騒音の時系列変化

結果をデータとして格納した場合、これを騒音・振動の時系列変化図として表示させることが可能である(図-5)。本機能を利用することにより、施工段階での詳細な重機配置計画と工事進捗に基づいた騒音・振動のピーク時期の予測や保全目標

値との比較を現場で行うことが可能である。また、猛禽類聴感特性と併せて利用することにより、猛禽類が営巣する期間における工事による騒音・振動の影響を検討し、施工計画変更、工事中断などの判断に必要な基礎データを得ることができる。

3. 建設事業現場における活用

国総研版騒音・振動シミュレーターは開発されたばかりのシステムだが、研究レベルではすでに建設事業現場における騒音などの影響予測・評価に活用されている(本特集の傳田・天野の報文¹⁾を参照)。ここでは、実際の事業現場で行われる希少猛禽類への騒音の影響評価を想定して予測計算を行い、現場での適用可能性について検討した。

3.1 予測条件

騒音予測を行う条件は以下の通りで、地形条件以外は架空のケースを想定している。

- ① 想定ケース：貯砂ダム近傍で確認された猛禽類営巣地等への浚渫工事中騒音の影響把握
- ② 工事内容：伐採および浚渫
- ③ 予測条件：
 - ・ 営巣地に最も近傍となる重機稼働(バックホウ2台)による騒音予測

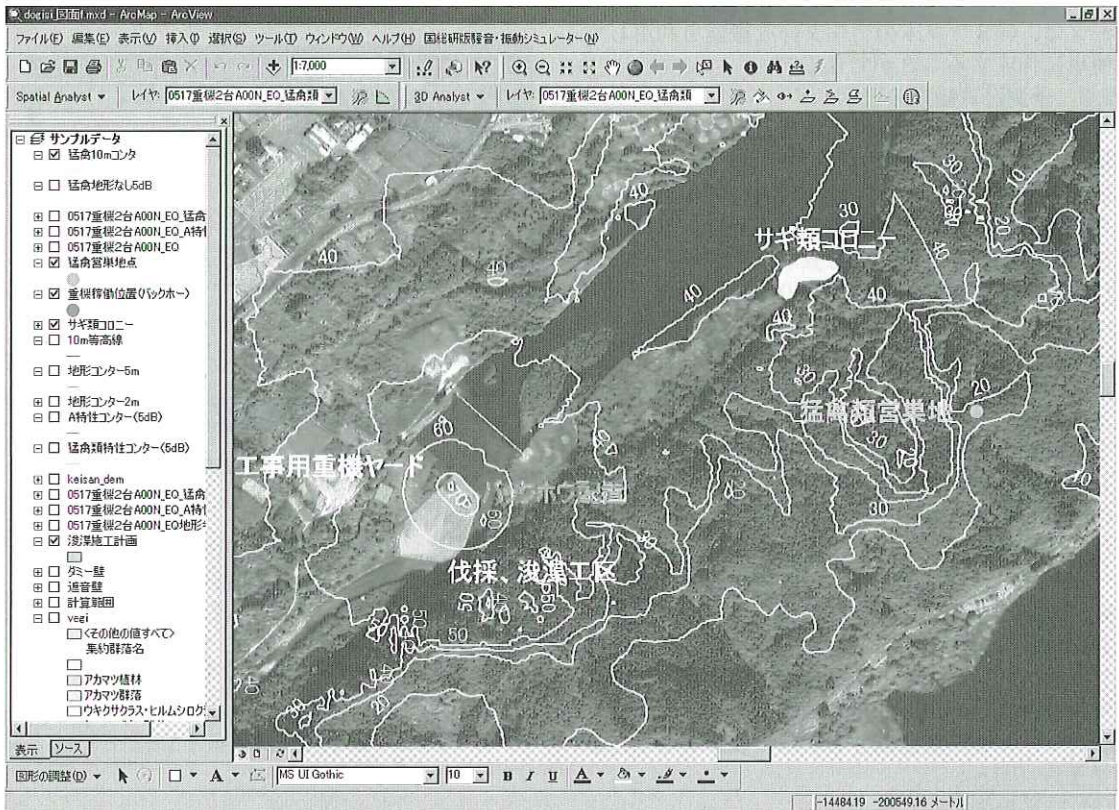


図-6 猛禽類の聴感特性で補正した騒音の伝搬予測結果

・聴感補正として猛禽類聴感特性を適用

3.2 予測結果とその利用

本ケースで設定した騒音予測結果と施工計画図、猛禽類等営巣確認地点を重ね合わせた結果を図-6に示す。GISの利用により、空中写真画像などのデジタルデータを活用して現地の状況を分かりやすく表現した地図上に騒音予測結果を重ねて示すことができる。なお本システムで利用している予測モデルは国総研構内における現地実測結果との比較検証を行い、組み込んだ計算モデルの妥当性は予め確認している。

4. 適用した騒音・振動伝搬予測モデル

本システムで適用した騒音の伝搬予測モデルは、日本音響学会より公表された「建設工事騒音の予測法“ASJ CN - Model 2002”」²⁾(以降、ASJモデルと呼ぶ)に準拠して作成したが、「周波数毎の計算」と「A特性音響パワーレベル又は騒音レベルによる計算」の2種類の計算方法を選択することができる。前者は、猛禽類特性やC特性などの様々な聴感補正特性の適用が可能となるように、任意の周波数スペクトルをもつ発生源から周波数帯別の伝搬予測を可能としている。

また、後者は、A特性音響パワーレベルが与えられた発生源からの伝搬予測をASJモデルに則して行なうものである。表-2に騒音の伝搬計算方法の概要を示す。

また、振動の伝搬予測モデルは、振動レベルの幾何減衰(距離減衰)及び土質の内部減衰を考慮した式を基本とし、振動源の発生レベルである基

表-2 騒音の伝搬計算方法の概要

実装した計算方法	計算方法の概要	得られる計算結果
周波数帯毎の計算	1/3オクターブバンド音圧レベルを用いて、周波数帯毎の騒音の伝搬計算を行ない、合成結果(オーバーオール)を計算結果として出力する。FLAT特性での計算を行なうため、任意の聴感補正特性で計算結果を得ることができる。	・任意の聴感補正特性を適用した騒音レベル ・合成された L_{eq} ないし、その地点における L_{max} (L_{A5})を出力
A特性音響パワーレベル又は騒音レベルによる計算	ASJ CN-Model 2002に示された計算方法によって、騒音の伝搬予測計算を行なう。	・騒音レベル ・合成された L_{eq} ないし、その地点における L_{max} (L_{A5})を出力

準点振動レベルを用いて計算を行うものである。

5. 騒音伝搬予測モデルについて

本システムに実装している騒音の伝搬予測モデ

ルの概要は表-3に示すとおりである。

特に、伝搬計算を行う際の回折減衰量や地表面効果による減衰量などの計算方法について、周波数毎に行う場合と、A特性音響パワーレベルで計算する場合において異なっている。各減衰に関する補正量について以下に説明する。

5.1 回折減衰に伴う減衰に関する補正量

周波数帯毎の計算を行う場合は、厚みのない障壁の回折効果を求めるための簡易図表である前川チャートを用い、それを数式表示した近似式³⁾を適用した。また、A特性音響パワーレベル又は騒音レベルによる計算を行う場合は、ASJモデルにおいて示された機械別騒音の代表スペクトルによる回折効果の計算⁴⁾を適用した。

5.2 地表面効果による減衰に関する補正量

ASJモデルの地表面効果による減衰量の計算方法は、代表地面を裸地とし、機械別の代表スペクトルについて、代表的な予測点高さ及び騒音源高さ毎に計算するものである。しかし、本システムでは、任意の周波数スペクトルをもつ騒音発生源について、任意の騒音源及び予測点高さにおける地表面効果による減衰量を計算可能とするために、福島らが提案した地表面効果による超過減衰の近似計算式⁵⁾を適用した。

5.3 空気吸収による減衰に関する補正量

空気吸収による音圧レベルの減衰は、周波数帯毎の計算方法の場合において適用可能とした。減衰量の計算は、「JIS Z 8738 - 屋外の伝搬における空気吸収の計算-」に基づき、空気吸収による減衰量を計算可能としている。

5.4 聴感補正特性の適用

聴感補正特性については、図-7に示すようなA特性、C特性、猛禽類特性がシステムに組み込まれており、周波数帯毎の計算方法においてこれらの聴感補正特性を適用することができる。

猛禽類の聴感補正特性については、国総研が千

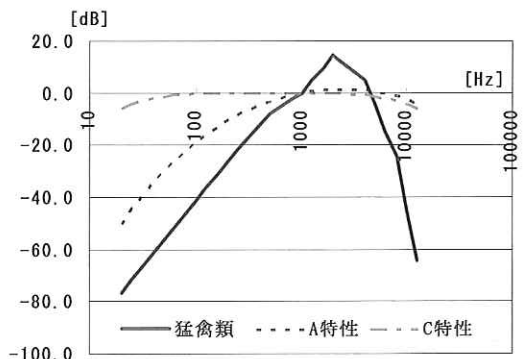


図-7 システムに組み込まれた聴感補正特性

表-3 国総研版騒音・振動シミュレーターで使用した騒音伝搬予測モデルの概要

項目	周波数帯毎の計算を行なう方法	A 特性音響パワーレベル又は騒音レベルによる計算を行なう方法
発生源データの内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ [Leq] [Lmax 又は L5] の別 ・ 1/3 オクターブバンド毎の音圧レベル ・ 発生源高さ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ [LWA 又は LWAeff] [LA,Fmax (r0)、LA,Fmax,5 (r0) 又は LA5 (r0)] の別 ・ 音響パワーレベル又は騒音レベル ・ 発生源高さ
基本式の表示形式	$L_{Aeff} = L_{WAeff,i} - 8 - 20 \log \frac{r_i}{r_0} + \Delta L_{d,i} + \Delta L_{g,i}$ <p> L_{Aeff}: 予測点における実効音響パワーレベル (dB) $L_{WAeff,i}$: ユニット (又は建設機械) の実効音響パワーレベル (dB) r: ユニット (又は建設機械) の中心から予測点までの距離 (m) r_0: 基準の距離 (=1.0m) $\Delta L_{d,i}$: 回折に伴う減衰に関する補正量 (dB) $\Delta L_{g,i}$: 地表面の影響による減衰に関する補正量 (dB) ※ただし、基準距離 r_0 での騒音レベルを与える場合 ($L_{A,Fmax} (r_0)$、$L_{A,Fmax,5} (r_0)$ 又は $L_{A5} (r_0)$) を発生源とする場合は、以下の式による。 </p> $L_d = L_d(r_0) - 20 \log \frac{r_i}{r_0} + \Delta L_{d,i} + \Delta L_{g,i}$	
回折減衰	<p>【前川チャートによる回折減衰量】</p> $\Delta L_{d,i} = \begin{cases} -10 \log_{10} N - 13 & N \geq 1 \\ -5 - 8 N ^{0.438} & 0 \leq N < 1 \\ -5 + 8 \delta ^{0.438} & -0.341 \leq N < 0 \\ 0 & N < -0.341 \end{cases}$ <p> フレネル数 $N = \frac{2}{\lambda} \delta = \frac{\delta \cdot f}{170}$ λ: 音の波長 (m) δ: 伝搬経路差 (m) f: 音の周波数 (Hz) (前川チャートの数式表示について、騒音制御,15(4):202-205)³⁾ </p>	<p>【機械別騒音の代表スペクトルによる回折減衰量】</p> $\Delta L_{d,i} = \begin{cases} -10 \log \delta - 18.4 & \delta \geq 1 \\ -5 - 15.2 \sinh^{-1}(\delta ^{0.42}) & 0 \leq \delta < 1 \\ -5 + 15.2 \sinh^{-1}(\delta ^{0.42}) & -0.069 \leq \delta < 0 \\ 0 & \delta < -0.069 \end{cases}$ <p> δ: 行路差 (伝搬経路差) (m) (建設工事騒音の予測法 "ASJ CN-Model 2002")²⁾ </p>
地表面効果	<p>【波動理論の近似式による地表面効果】*</p> ASJ Model における地表面効果の計算式のベースとなる波動理論を近似式化した方法である。 音源の周波数スペクトルがエネルギーベースで考慮可能な近似計算式であり、広帯域の周波数スペクトルを高い精度で計算することが可能であるとされている。 (「地表面上の騒音伝搬に関する近似計算式」, 福島昭則、一木智之、森喜仁, 1999年1月22日, 騒音・振動研究会資料 資料番号 N-99-5, (社) 日本音響学会 騒音・振動研究会) ⁵⁾	<p>【機械別騒音の代表スペクトルによる地表面効果】*</p> $\Delta L_{g,i} = K \log_{10} \left(\frac{r}{r_c} \right)$ <p> r: 騒音源から予測点までの距離 (m) r_c: 減衰が生じ始める距離 (m) ($r > r_c$ の場合、減衰量は常に 0dB とする。) K: 減衰の勾配を与える係数 ※ K 及び r_c について、裸地の場合のいくつかの数値が ASJ CN-Model 2002 に示されている。 </p>
空気吸収	【JIS Z 8738 「屋外の伝搬における空気吸収の計算」】	× 空気吸収の計算は扱わない。
植生	・ 植生の疎、密についての減衰量算定式** (参考扱い)	× 植生による超過減衰は扱わない。
計算結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1/3 オクターブバンド毎の音圧レベル ・ 合成された Leq ないし、その地点における Lmax (LA5) を結果出力。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 合成された Leq ないし、その地点における Lmax (LA5) を結果出力。
聴感補正特性の適用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 任意の聴感補正特性を適用可能 ・ 計算開始前に、あらかじめ適用する特性をユーザーが選択。 	× 聴感補正特性の適用はできない。

注) *: 地表面効果の適用範囲は、基本的に平坦な地形において 100m 程度の距離までを想定。100m 以上の領域についても計算できるが、適用範囲外であることに注意が必要。

** : 植生を疎密に区分し、伝搬距離によって超過減衰を与える式を現地計測結果から作成したが、未検証のため、参考扱いとする。

葉大学(岡ノ谷研究室)に委託して実施した、オオタカを対象としたオペラント条件付け実験結果⁶⁾⁷⁾により得られた聴感度曲線の平均値をもとに、人間の聴感補正特性であるA特性の設定方法を参考として、標準的な聴感補正特性を作成した。

6. 環境影響評価への適用の可能性と今後の課題

本システムを利用することで、建設事業に伴う騒音・振動の影響の程度を、客観的かつ視覚的に予測することが可能となる。例えば、営巣箇所において工事騒音がオオタカには聞こえないか、あるいは暗騒音以下であるかどうか、といった検討や、複数の工事計画案にもとづく騒音・振動の影響の相対評価など、合意形成のための資料として活用できる。

今後は、本システムの一般公開に向け実際の建設現場条件によるシステムの検証作業と操作面での改善検討を行い、システムとしての完成度を向上させるほか、一般公開にあたっての環境整備(ダウンロードサイト整備、利用にあたっての留意事項等)を行うことを予定している。

また、一般公開にあたっては、プログラムソースや解析モジュールのインターフェースを公開することによって、ユーザーが各自の利用方法に応じてシステムの改造や機能拡張を行うことができるようにすることを予定している。

謝辞

本システムの開発にあたり、騒音発生源データの貸与やASJモデルの適用に係るご助言をいただいた独立行政法人土木研究所技術推進本部先端技術チームおよび国土交通省関東地方整備局関東技術事務所機械課、ならびに猛禽類の聴感特性に関する研究を実施していただいた千葉大学文学部認知情報科学講座の関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 傳田正利、天野邦彦：新しい野生動物研究技術－MTSとGISの連携の可能性と今後の展開－，土木技術資料46(7)：44～49，平成16年7月
- 2) 社団法人日本音響学会：日本音響学会 第11回音響技術セミナー “建設作業騒音の予測法” ASJ CN-Model 2002”，平成15年1月
- 3) 山本貢平、高木興一：前川チャートの数式表示について，(社)日本騒音制御工学会 騒音制御，15(4)，pp202～205，平成3年8月
- 4) 山本貢平、縄岡好人、田近輝俊：建設工事騒音予測モデル ASJ CN-Model2002の提案－その3 伝搬計算方法－，日本音響学会講演論文集，pp719～721，平成14年9月
- 5) 福島昭則、一木智之、森 喜仁：地表面上の騒音伝搬に関する近似計算式，(社)日本音響学会 騒音・振動研究会資料，資料番号 N-99-5，平成11年1月
- 6) 千葉大学文学部認知情報科学講座、国土技術政策総合研究所環境研究部緑化生態研究室：平成14年度 希少猛禽類への建設事業影響の予測・評価に関する研究報告書、平成15年3月
- 7) 千葉大学文学部認知情報科学講座、国土技術政策総合研究所環境研究部緑化生態研究室：平成15年度 希少猛禽類への建設事業影響の予測・評価に関する研究報告書、平成16年3月

百瀬 浩*



国土交通省国土技術政策
総合研究所環境研究部緑
化生態研究室 研究官，理
博
Dr. Hiroshi MOMOSE

松永忠久**



日本工営株式会社首都圏
事業部 環境部マネー
メントリーダー
Tadahisa
MATSUNAGA

飯塚康雄***



国土交通省国土技術政策
総合研究所環境研究部緑
化生態研究室 研究官
Yasuo HIZUKA

藤原宣夫****



国土交通省国土技術政策
総合研究所環境研究部緑
化生態研究室 室長
Nobuo FUJIWARA