

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04462

研究課題名（和文）広域環境騒音伝搬予測のための地表面音響特性時空間変動モデルの確立

研究課題名（英文）Establishment of a spatiotemporal variation model of ground acoustic properties for wide-area prediction of environmental noise propagation

研究代表者

大嶋 拓也 (Oshima, Takuya)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：40332647

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000 円

研究成果の概要（和文）：環境騒音伝搬に大きく影響する地表面音響特性の、広域における時空間変動の様相は明らかではない。そこで、気象・地中水分・地表面音響特性の定点観測結果から地表面音響特性の時間変動モデルを導出し、さらに多バンド航空写真から推定した地表面種類分布と時間変動モデルを統合することにより、地表面音響特性時空間変動モデルを確立した。確立したモデルを用いた音響伝搬計算から、地表面音響特性の時空間変動の考慮の必要性が明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の展開として、気象予報と本研究のモデルから動的に算出した「騒音予報マップ」の作成・活用により、騒音源たる交通流および航空機飛行経路の制御、個人の暴露抑制行動誘発など、社会的な騒音暴露抑制手段に道が開かれる。また、地表面音響特性分布マップを活用し、都市全体における吸音力配置の現状把握および改善提案を行うような、新たな視点に基づく都市計画的な騒音政策が考えられる。これらにより、最終的には騒音による国民の健康リスク低減が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：Magnitude of spatiotemporal variation of ground acoustic properties that affects environmental noise propagation has not been well known. In this project, a temporal variation model was derived from in-situ observations of meteorological elements, soil moisture content and ground acoustic properties. Thereafter, a spatiotemporal variation model was established by integrating the temporal variation model and the land cover classification estimated using hyperspectral imaging data. From sound propagation calculations using the established model, it was demonstrated that spatiotemporal variation of ground acoustic properties needed to be taken into account.

研究分野：環境音響学

キーワード：建築環境・設備 都市環境音響 騒音伝搬予測 地表面音響特性 リモートセンシング 気象観測 土壌水分 ノイズマップ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人間の社会活動から発生する交通騒音、工場騒音、建設工事騒音などの環境騒音の低減を図り、かつ適切な限度内に抑え続けることは、国民が健康で文化的な生活を営むための最重要な要件の一つである。それゆえ、あらゆる騒音対策手法の礎となる騒音伝搬予測技術の向上が求められている。国内では、日本音響学会 (ASJ) による予測モデルである「ASJ 道路交通騒音予測モデル (ASJ Model)」(①) が、伝搬予測に関する研究成果の集大成として代表的である。

ASJ Model では、入力条件として必要な地表面音響特性 (地表面の音響吸収) は、「アスファルト」「固い地面」「草地」「耕田」の典型的な 4 種に対し、音響特性量の一種である実効の流れ抵抗が定数で定義されているのみである。その 4 値の予測対象地域全体への設定方法は、現地調査や航空写真による目視判別など、予測者の判断に任されるのが実情であった。

一方で、先端的なリモートセンシング手法であるハイパースペクトル航空写真が、可視光から近赤外域を 40~100 波長帯に分割した詳細な分光特性を約 1 m の高解像度で得られるとして注目されている。申請者らは、このハイパースペクトル航空写真を用いてはじめて、広域の 4 種の地表面分布を求めた (②など)。さらに、4 値の離散量ではない、連続量としての吸音率 (音響特性量の一種) の分布を、分光特性に対する実測吸音率のモデル化により求めた (③)。

しかしながら、地表面音響特性は空間的のみならず、土中の空隙、水分、および植生により、時間的にも変化する (④)。この変化の騒音伝搬への影響は、明らかでない。

2. 研究の目的

以上から本研究では、以下を目的とする。

- (1) 都市スケールの広域における地表面音響特性の経時変化モデルを確立する。
- (2) 地表面音響特性の時空間変化による音響伝搬への影響を明らかにする。

3. 研究の方法

前節各項目に対し、それぞれ次の方法でアプローチする。

- (1) ① 気象、地中水分、および地表面音響特性の定点継続測定により、地表面音響特性の日～年単位に至る経時変化パターンの因果モデルを構築する。② ハイパースペクトル航空写真から、広域における地表面種類分布を推定する。③ ①および②を統合し、広域における地表面音響特性の経時変化モデルを確立する。
- (2) 確立した(1)のモデルを適用して実在地を対象とした伝搬計算を実施し、広域における地表面音響特性の経時変化による音響伝搬への影響を明らかにする。

4. 研究成果

2 節各項目に対し、主に以下の成果を得た。

- (1) 広域における地表面音響特性の経時変化モデルの確立
 - ① 地表面音響特性の経時変化モデルの構築

砂質土の実地表面を対象とした気象、地表面水分および地表面音響特性の約半年間に渡る長期測定データから、ピンポイントな地表面に対する地表面音響特性の時間変動モデルの確立を図った。本モデルは、降雨および気温の時間変動が深さ 10 cm 以内のごく浅い地中の飽和度 (土中水分量に関するパラメータ) に影響し (Stage 1)、飽和度が地表面の音響特性に影響する (Stage 2)、図 1 に示す 2 段階モデルである。Stage 1 により飽和度のモデル計算値 $\hat{S}_r(t)$ が、Stage 2 により実効の流れ抵抗のモデル計算値 $\hat{\sigma}(t)$ が下式により求まる。

$$\hat{S}_r(t) = \int_0^t h(\tau)R(t-\tau)d\tau - c(T(t) - d) [\%], h(t) = ae^{-bt} [\%/mm] \quad (1)$$

$$\hat{\sigma}(t) = p \ln\left\{1/(1 - \hat{S}_r(t)/100)\right\} + q \text{ [kPa s/m}^2\text{]} \quad (2)$$

ここで $R(t)$ [mm/hour], $T(t)$ [°C] はそれぞれ降雨量および気温, a [%/mm], b [1/day], c [%/mm], d [°C], p [kPa s/m²], q [kPa s/m²] はモデル定数を表す。上式の通り, Stage 1 は 4 パラメータ, Stage 2 は 2 パラメータの計 6 パラメータで構成される。

モデルにより日毎の推定吸音率を計算し、実測吸音率とともに図 2 に示す。本モデルによる地表面音響特性のモデル計算結果は、実測結果に見られた変動の長期的な成分を良く捉えた。

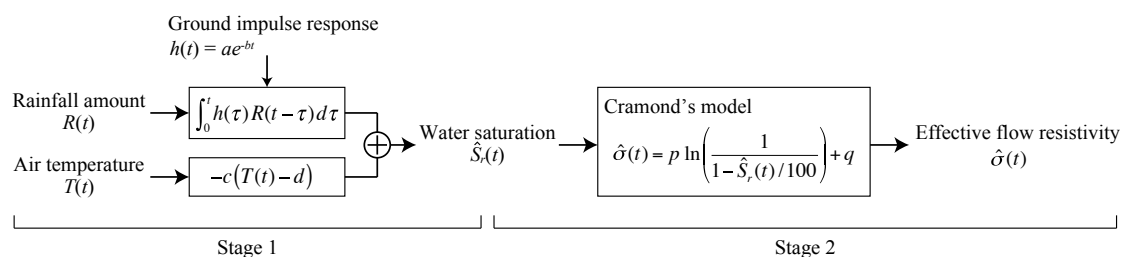


図 1 構築した 2 段階モデル

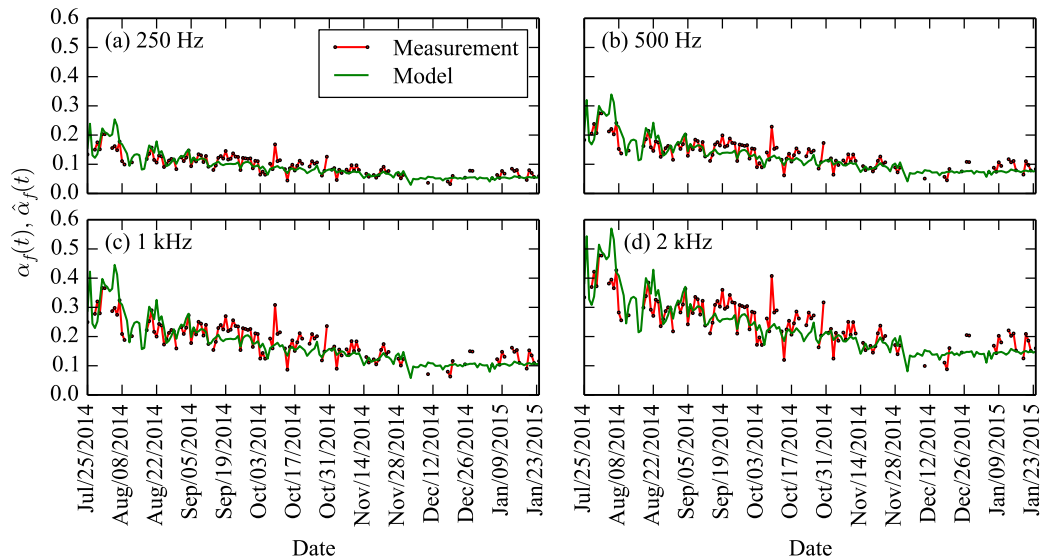


図2 実測吸音率 $\alpha_f(t)$ とモデル計算吸音率 $\hat{\alpha}_f(t)$ の日毎の変化（積雪時の実測値は除く）

② 複数種地表面への地表面音響特性経時変化モデルの適用

①で構築したモデルは砂質土のみについてのモデルであったため、これを多種類の地表面へ展開した。対象の地表面種は、ASJ RTN-Model 2018の地表面分類におおむね対応する、畑、草地、田んぼ、固い地面の4種とした。これらの地表面で気象観測、飽和度観測および地表面音響特性測定を1ヶ月～半年間行った。観測結果に対するフィッティングにより、それぞれの地表面においてこれらの6パラメータを定めた。図3に、各地表面における飽和度-実効的流れ抵抗の散布図および式(2)による回帰曲線を示す。図より、畑、草地、田んぼでは、飽和度の上昇とともに実効的流れ抵抗も増加する傾向が見られ、モデル化は良好に行われた。ただし固い地面だけは、飽和度と実効的流れ抵抗の相関が見られず、常時ほぼ非吸音性であったことから、モデル化を行わず一定の音響特性とすることとした。以上より、畑、草地、田んぼにおけるモデル定数を表1の通りとした。

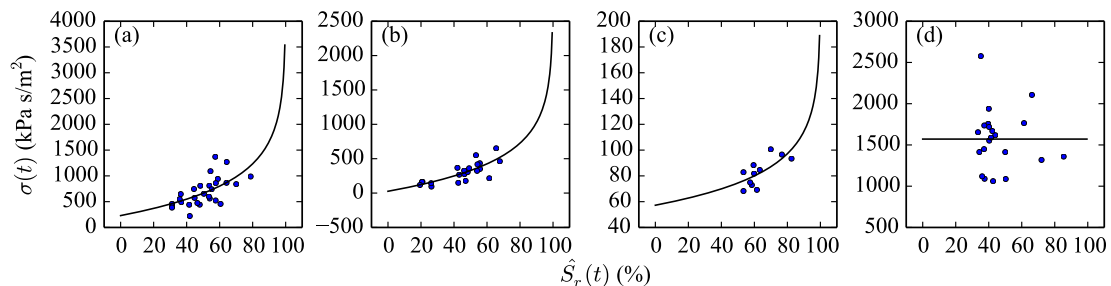


図3 (a) 畑, (b) 草地, (c) 田んぼ, (d) 固い地面における、飽和度-実効的流れ抵抗の散布図および式(2)による回帰曲線

表1 各地表面において決定されたモデル定数

Location	a [%/mm]	b [1/day]	c [%/°C]	d [°C]	p [kPa s/m ²]	q [kPa s/m ²]
Farmland	1.407	0.2862	1.618	44.27	624	230
Grass	1.153	0.1524	1.914	33.91	435	26.1
Rice field	0.8331	0.2324	0.01161	4623	24.8	57.2

③ 広域の地表面音響特性時空間変動モデル（マップ）の作成

広域の音響特性推定手法を構築し、季節単位での広域の音響特性を捉えるため、ハイパースペクトルカメラを用いた航空画像撮影を実施した。航空画像から、ピクセル単位で②に記した畑、草地、田んぼ、固い地面、その他の5種に地表面種類の分類を行った。「その他」は、アスファルト路面および建物などの人工的な非吸音面が該当する。分類には既往の機械学習手法の1つであるMED-SD法(⑤)を適用することとし、当該手法の改善手法を提案し最適計算条件を求めた。図4(a), (b)にそれぞれ、航空画像の推定エリア部分および推定エリア内における地表面分類結果を示す。両者を見比べると、概ね妥当な地表面分類ができている。

分類された各ピクセルに①, ②のモデルを適用することで、広域の地表面音響特性の時空間変動モデルが得られた。

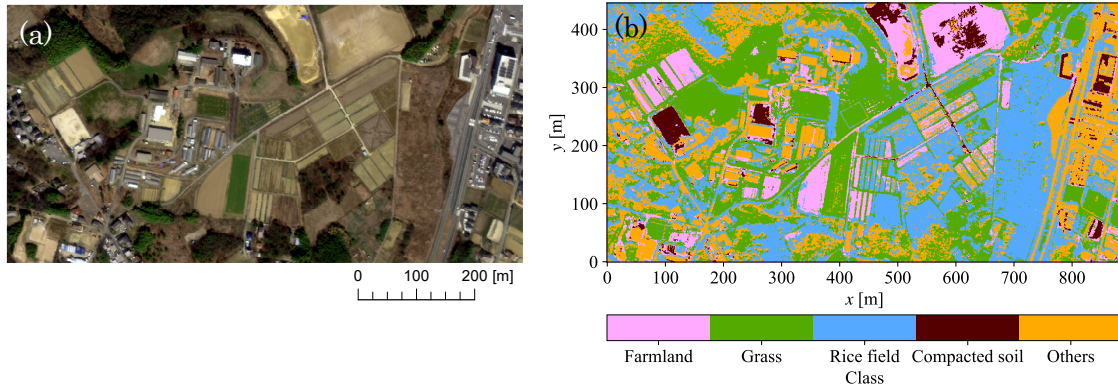


図4 (a) 推定エリアの航空画像, (b) 推定エリアにおける地表面分類結果

(2) 地表面音響特性時空間変動モデルを用いた音響伝搬計算

(1)で得られた時空間変動モデルを適用し, 実在地を対象とした音響伝搬計算を行った。(1)で得られた流れ抵抗は, インピーダンスモデルによって音響インピーダンスに変換される。伝搬計算モデルには局所作用性モデルを用いることとし, 中でも多種の有限インピーダンス地表面の混在が可能な手法として, 欧州の **Harmonoise** 工学モデルの **Point-to-point** ライブラリ (6) を用いた。図5に, 線音源から1つの受音点への音響伝搬における, 1年間にわたる1時間ごとの等価騒音レベル $L_{Aeq,1h}$ および年平均等価騒音レベル $L_{Aeq,1year}$ を示す。さらに比較のため, 地表面音響特性の時空間変動を考慮せず, 全ての地表面が剛な場合の等価騒音レベルも併せて示す。地表面音響特性の時空間変動を考慮した場合, 1時間等価騒音レベルは年間で最大 13 dB 程度の日変動をすることが示された。また, 時空間変動を考慮する場合と考慮しない場合では, 年平均等価騒音レベルには 11 dB 程度の差があった。このことから地表面音響特性の時空間変動の考慮の必要性が明らかとなり, また本研究目的が達成されたと考える。

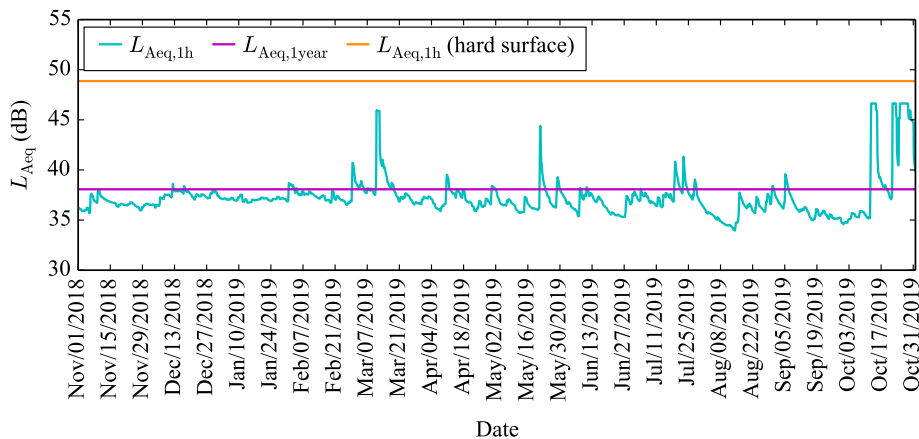


図5 1時間等価騒音レベル L_{Aeq} の時間変化

<引用文献>

- ① 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会, 道路交通騒音の予測モデル “ASJ RTN-Model 2013”, 日本音響学会誌, 70(4), 172–230 (2014).
- ② Y. Hiraguri, T. Oshima and K. Hoshi, Basic investigation on estimation of land cover classification conforming to the ASJ RTN-Model using hyperspectral imaging data, *Acoust. Sci. Technol.* 34, 367–370 (2013)
- ③ 大嶋拓也, 若松慶, 平栗靖浩, 奥園健, 富来礼次, 岡本則子, 大鶴徹, 広域音響伝搬予測のための地表面境界条件推定 -航空ハイパースペクトル写真を用いた吸音率回帰モデルの検討-, 日本音響学会講演論文集 (秋季), 73–76 (2015)
- ④ T. Oshima, Y. Kurosaka and M. Honda, Modeling the influence of weather to acoustic absorption of ground surface: an in-situ study by long-term measurements, *Proc. Inter-Noise 2015*, 898 (2015)
- ⑤ K. Oki, L. Shan, T. Saruwatari, T. Suhama and K. Omasa, Evaluation of supervised classification algorithms for identifying crops using airborne hyperspectral data, *Int. J. Remote Sensing* 27(10), 1993–2002 (2006)
- ⑥ D. Van Maercke, Programing the Point-to-point Propagation Model, Technical Report HAR34TR-041124-CSTB01 (CSTB, Marne-la-Vallée, 2004)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 大嶋拓也, 黒坂優美	4. 巻 83
2. 論文標題 地表面上の点音源による音場の拡張・局所作用理論モデル解析および有限差分値解析の適用性に関する検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会環境系論文集	6. 最初と最後の頁 355-363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aije.83.355	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yumi Kurosaka, Takuya Oshima and Meiji Honda	4. 巻 66
2. 論文標題 Influence of weather on the acoustical properties of a ground surface: measurements and models	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Noise Control Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 505-522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3397/1/376643	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計38件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 塚原正人, 大嶋拓也
2. 発表標題 多孔質材料の流れ抵抗の直接測定及び現場測定した音響特性からの推定の比較
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹田郁哉, 大嶋拓也
2. 発表標題 半無限長厚み障壁背後における日欧の道路交通騒音予測モデルの特性に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒坂優美, 大嶋拓也, 平栗靖浩
2. 発表標題 環境騒音伝搬予測のためのハイパースペクトル航空画像を用いた地表面分類の検討
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大嶋拓也, 黒坂優美
2. 発表標題 カーディオイドマイクロホンを用いた地表面音響特性の現場測定に関する検討 C-C法とアンサンブル平均法の比較
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒坂優美, 大嶋拓也, 平栗靖浩
2. 発表標題 環境騒音伝搬予測のための航空画像を用いた地表面種類広域分布の推定
3. 学会等名 日本建築学会北陸支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大嶋拓也, 黒坂優美
2. 発表標題 カーディオイドマイクロホンを用いた地表面音響特性の現場測定に関する検討 アンサンブル平均法との比較
3. 学会等名 日本建築学会北陸支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩本拓也, 大嶋拓也, 黒坂優美
2. 発表標題 ANSI/ASA S1.18-2010法およびアンサンブル平均法による地表面音響特性の実測比較
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三森新, 大嶋拓也
2. 発表標題 日欧の騒音予測モデルにおける自動車音源モデルに関する研究 - 小型車におけるASJ RTN-Model 2018とHarmonoise及び実音源の比較 -
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒坂優美, 大嶋拓也
2. 発表標題 表面音響特性現場測定法の特性に関する検討 ANSI/ASA S1.18-2010法に基づく測定値のばらつきに関する実測
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Oshima, Azusa Hoshikawa, Yumi Kurosaka
2. 発表標題 Comparison of ASJ RTN-Model 2013 and the Harmonoise engineering model under thick barrier configurations
3. 学会等名 International Congress on Acoustics (Aachen) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Oshima, Koya Hiroi and Yumi Kurosaka
2. 発表標題 Outdoor sound propagation models to reproduce low-frequency adverse wind effect on road traffic noise propagation
3. 学会等名 Inter-Noise 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 星川亜都紗, 大嶋拓也
2. 発表標題 日欧の道路交通騒音予測モデルの特性に関する比較研究 ASJ RTN-Model 2013とHarmonoise自動車音源の指向性の比較
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横川大幹, 大嶋拓也
2. 発表標題 コンクリートブロックを利用した吸音先端部を有する遮音塀の2次元数値解析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 星川亜都紗, 大嶋拓也
2. 発表標題 日欧の騒音伝搬モデルの特性に関する研究 - 厚みのある障壁を用いたASJ RTN-Model 2013とHarmonoise工学モデルの比較 -
3. 学会等名 日本音響学会騒音・振動研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大嶋拓也, 内田翔, 黒坂優美
2. 発表標題 スマートフォンを用いた騒音測定における身体携帯状態による補正量の基礎検討
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒坂 優美, 大嶋 拓也
2. 発表標題 アンサンブル平均を利用した表面音響特性現場測定法からの特性インピーダンス比推定に関する研究
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平栗靖浩, 大嶋拓也, 奥園健
2. 発表標題 道路交通騒音マップ作成のための技術的現状及び課題
3. 学会等名 日本騒音制御工学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya OSHIMA, Azusa HOSHIKAWA, Yumi KUROSAKA
2. 発表標題 A comparison of Japanese and European road traffic noise propagation models under different urban morphologies of Japanese and German sites
3. 学会等名 Inter-Noise 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yumi Kurosaka, Takuya Oshima
2. 発表標題 Comparative study on in-situ measurement techniques of surface acoustic properties: experimental investigations of three techniques
3. 学会等名 Inter-Noise 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒坂優美, 大嶋拓也
2. 発表標題 表面音響特性現場測定法の特性に関する研究 2マイクロホン手法におけるマイクロホン設置高さ誤差が測定結果に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 星川亜都紗, 大嶋拓也
2. 発表標題 日欧の道路交通騒音予測モデルの特性に関する比較研究 - ASJ RTN-Model 2013とHarmonoiseの日独市街地における相互比較 -
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大嶋拓也
2. 発表標題 地表面効果を考慮した音響伝搬理論計算モデルおよび数値解析の比較検討
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新村 洋一, 大嶋 拓也
2. 発表標題 背景環境音の伝搬時間検出による風速測定手法の研究-道路平行方向伝搬のモデル解析および実測-
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒坂優美, 大嶋拓也, 平栗靖浩, 奥園健
2. 発表標題 多種の地表面における音響特性の季節変化に関する実測研究
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大嶋拓也
2. 発表標題 モデル計算による道路交通騒音伝搬への風の影響に関する検討
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 星川亜都紗, 大嶋拓也
2. 発表標題 日欧の騒音伝搬モデル間比較に向けたHarmonoise工学モデルの実装手法の検討
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Oshima, Kei Wakamatsu, Yasuhiro Hiraguri, Takeshi Okuzono, Reiji Tomiku, Noriko Okamoto, Toru Otsuru
2. 発表標題 Acoustic absorption mapping: wide-area estimation of acoustic absorption coefficient using airborne hyperspectral imagery
3. 学会等名 Inter-Noise 2016 (Hamburg) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yumi Kurosaka, Takuya Oshima
2. 発表標題 On the characteristics of the EA method to measure the acoustic properties of ground surface in-situ
3. 学会等名 Inter-Noise 2016 (Hamburg) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大嶋 拓也, 若松 慶, 平栗 靖浩, 奥園 健, 富来 礼次, 岡本 則子, 大鶴 徹
2. 発表標題 リモートセンシングによる地表面音響特性マッピングの試み
3. 学会等名 日本騒音制御工学会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 黒坂優美、大嶋拓也
2. 発表標題 表面音響特性の現場測定法に関するモデル式解析 - 吸音材及び地表面を対象とした検討 -
3. 学会等名 日本建築学会北陸支部
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大嶋拓也、阿部 京介
2. 発表標題 CIP法における減衰媒質の取扱いに関する検討
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 新村洋一、大嶋拓也
2. 発表標題 背景環境音の伝搬時間検出による風速測定手法のモデル解析
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 黒坂優美、大嶋拓也、新村洋一
2. 発表標題 表面音響特性の各種 in-situ 測定法に関する基礎的比較研究 - EA法をベンチマークとして -
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大嶋拓也、平栗靖浩
2. 発表標題 地理空間情報を用いた屋外拡声放送の聴取困難人口分布推定フレームワークの構築
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新村洋一, 大嶋拓也
2. 発表標題 背景環境音の伝搬時間検出による風速測定手法の研究 - 付加音源を用いた必要音量の検討 -
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大嶋拓也, 若松慶, 平栗靖浩, 奥園健, 富来礼次, 岡本則子, 大鶴徹
2. 発表標題 航空ハイパスベクトル写真による地表面吸音率推定および3次元マッピング
3. 学会等名 日本音響学会騒音・振動研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 黒坂優美, 大嶋拓也
2. 発表標題 表面音響特性の各種現場測定法の特性に関する研究-EA法をベンチマークとして-
3. 学会等名 日本音響学会騒音・振動研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中村航, 平栗靖浩, 黒坂優美, 大嶋拓也, 奥園健, 上俊二
2. 発表標題 まさ土の土中水分の空隙率が地表面吸音率に与える影響
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

黒坂優美，環境騒音伝搬予測のための地表面音響特性経時変化のモデル化に関する研究，新潟大学学位請求論文，2020

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	平栗 靖浩 (Hiraguri Yasuhiro) (90457416)	近畿大学・建築学部・准教授 (34419)	
研究分担者	奥園 健 (Okuzono Takeshi) (40727707)	神戸大学・工学研究科・助教 (14501)	
研究協力者	黒坂 優美 (Kurosaka Yumi)		