

音による都市域の生態系評価手法に関する研究 -秋の鳴く虫に着目して-

Study of Sound Indicators for Evaluating Ecosystems in Urban Green Area - Focusing on Fall Insect Calling Activities -

相野田 幸司
AINOTA, Koji

概要：今日、開発事業における環境アセスメントでは、環境の認識や評価に際し、騒音レベルに基づき物理的な定量化がなされている。しかし、dB 値のみによる基準は、ある地域のある環境における多様な生物が発する音による空間的の把握といった視点をないがしろにされている。1967年にカナダの作曲家兼教育家 R. M. シューファーは「ランドスケープ(Landscape)」に基づいて環境音を「風景」として認識する「サウンドスケープ(Soundscape)」という概念を提唱した。本研究では急務である自然環境保全に向け、音による①都市部における生態系評価、②開発事業に伴う環境アセスメントにおける生態系評価を目標とする。音という観点がどのように貢献し得るのか、音に関する既存の制度調査、日本サウンドスケープ協会誌やシューファーの著作物及び関連書籍と論文調査を行なった。その他、生態学や音響学に係る国内外の関連書籍及び論文調査を行なうことにより、知見を整理し、方法論や今後の課題を抽出した。

Summary: In the existing assessment system, there is a lack of consideration for various sounds and sound combinations. In spite of this we can hear a wide variety of sounds and sound combinations from nature and cities or industry. The combinations of sounds are different depending on the place. R.M.Schafer called this idea “Soundscape.”

The purpose of this study is having basic consideration of developing Ecosystem Assessment Method Applying Sounds. I have researched green zones in urban areas and rural areas as target fields using microphones and a sound level meter. Soundscape is important to consider in environmental conservation, preservation and city planning and specifically in restoration of natural areas.

キーワード：サウンドスケープ、サウンドスケープエコロジー、生態系アセスメント、環境影響評価
Keywords: Soundscape, Soundscape Ecology, Ecosystem Assessment, Environmental Impact Assessment

1. はじめに

現在、都市部においては緑地が減少しており（橋詰, 1979）、都市緑地生態系及び生物多様性が失われつつある。都市域に現存する緑地、もしくは新たに創成する場合、それらの生態学的価値を多角的な観点から着目したうえで適切に把握し、計画及び管理を行なう必要がある。これまでに、トロールが提唱したランドスケープ・エコロジーではランドスケープ形成に関わりを持つ因子、すなわち気候、地形、土壌、地質、水、動植物など地因子の多様な相互作用及びそれに関わる人間の作用を分析対象とし（横山, 1995）、ある空間の構成が移り変わる様子は様々なスケールで分析されてきた（McDonnell, Pickett, 2008）。

ランドスケープに含まれる因子に、音が含まれる（Pijanowski, Farina, 2011）。例えば自然空間の音環境で受聴可能な音は、空間的かつ時間的に変移する。森や草原、湿地帯などは哺乳類や鳥類や両生類、昆虫類などの

多種多様な音の創出に寄与する（Marler, Slabberkoom, 2004）。一方で、都市空間の音環境は車両やサイレンや機械など、そのほか人工物が発する音で満たされている（Botteldooren ら, 2004）。音環境に関して、1967年にカナダの作曲家で教育家の R. M. シューファーは「ランドスケープ(Landscape)」に基づいて環境音を「風景」の一部として認識したうえで、その中で生命の身体反応や行動反応に与える影響を考察する「サウンドスケープ(Soundscape)」という概念を提唱した。

本研究では急務である自然環境保全に向け、サウンドスケープを自然環境の一部と認識したうえで、音による①都市部における生態系評価（状態評価）、②開発事業に伴う環境アセスメントにおける生態系評価（影響評価）の将来的な導入を目標とし、音という観点が生態系評価においてどのように貢献し得るのか考察した。個人の感覚的尺度によって異なる印象を与えてしまいがちな音環境を、動植物のハビタットとしての適否として着目し、

この研究の一部は、環境アセスメント学会の2013及び2014年度年次大会において口頭発表、2013エコプロダクツ展にてポスター発表を行なった。

サウンドスケープ研究や生態学、音響学に係る既往研究調査を行う。それらの知見を整理し、さらに秋に鳴く虫を対象とした音声収録調査及び分析によって、方法論や音による生態系評価における今後の課題を抽出することを目的とする。

2. 研究項目と方法

2-1. 音と自然環境に関する既存文献調査

本研究を進めるにあたって、以下に示す項目を明らかにするため、既存文献調査を行なった。1) 音によるモニタリングの有用性、2) 自然環境におけるサウンドスケープの理解。サウンドスケープ研究に関しては、日本サウンドスケープ協会誌やシェーファーの著作物及び関連書籍と論文調査を行なった。その他、生態学や音響学に係る国内外の関連書籍及び論文調査を行なうことにより、音による生態系評価の可能性の把握を試みた。

2-2. 音声収録調査

音から生態系の健全性及び生物多様性を把握する事が可能か検証するため、2-1. の項目の調査によって得られた知見を基に、秋の鳴く虫を対象とし、音声収録調査を行なった。

本研究における秋の鳴く虫とは、昆虫類直翅目キリギリス科とコオロギ科及び一部のケラ科に属し、翅で音を出す虫を示す(松浦, 1990)。8月下旬より11月下旬の間に屋外にて受聴可能な種を対象とし、音声収録調査を行った。

対象地は、東京都市大学横浜キャンパス内保全林及び周辺地域において、1)樹林地、2)竹林、3)人工地、4)芝地、5)住宅地道路、6)その他緑地、7)田、8)畑、9)河川敷、10)荒れ地、11)公園内縁、12)公園中心地、13)池、14)住宅地、15)大建物・建物密集地、16)残存・植栽樹区分を持つ公園に区分される土地を含む、合計26箇所にて4機の收音機を用い、それぞれの調査地において最低24時間の收音調査を行なった。

表1に音声収録調査の概要を示す。

表1 音声収録調査概要

1. 対象生物	昆虫類直翅目
2. 調査期間	2014年9月より11月
3. 使用機材	收音機 (Song Meter2+ 2機、Song Meter3 2機、Wildlife Acoustics 社製)
4. 収録条件	サンプリング周波数 48kHz、AD変換能 16bit
5. 収録時間	最低 24 時間 ※天候不良の場合、安定したデータを得るため、24時間以上設置した

(1) 調査地における自然音と人工音の割合と緑被率の相関係数の算出

音声収録調査で得られた情報が、周囲の緑被状況を反映し、相関が見られるかを明らかにするために、各調査地における自然音と人工音の割合の平均値と中央値を取り、音声収録機器を設置箇所周辺の緑被率(半径 50m、100m)との相関係数を算出した。

自然音と人工音の割合においては、3-1. 内、に示した図1 (Krause, 1987, 2002, 2012)に基づき、自然音を2kHzから10kHz、人工音を0kHzから2kHzと定義し、R言語上で機能するプログラムを作成して算出した。データは、6時から18時までを昼間、秋の鳴く虫が隆盛である18時から翌日6時までを夜間として分析を行なった。また、大都市に位置する特徴的な屋上緑地として、表参道原宿「おもはらの森」と、東急プラザ赤坂「野に咲く花の回廊」にて行なった調査も分析の対象とした。

図1に自然音と人工音の割合算出のフローを示す。

(2) 秋の鳴く虫の定量評価

3-1. に示す音のニッチ仮説 Krause (1993) を基に、音による生態系の健全性は、多様な種が聴取できること、それらが均等に分布していることであると仮定し、収録したデータの多様度を、シャノン指数を用いて算出した (Villanueva-Rivera ら, 2011)。

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (1)$$

p_i はS個の周波数バンドの内、i番目の周波数バンドに含まれる音の割合である。

分析の対象は秋の鳴く虫が隆盛であった9月9日から10月10日の夜間に得られたデータに限った。

3. 研究結果

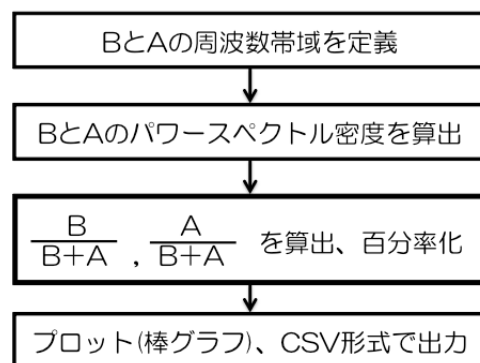


図1 自然音と人工音の割合算出フロー

B : 自然音 (バイオフィォニー)

A : 人工音 (アントロフォォニー)

3-1. サウンドスケープエコロジーの提唱

音はある空間の人間活動の様子のみならず、生物の生息及びその分布状況や気象状況や季節の移ろいなどの状況を伝える“メッセンジャー”として有用である (Truax, 1984) とされ、サウンドスケープ概念の誕生以前から、鳴き声による種内及び種間のコミュニケーションパターンの解明を始め、生物音響学 (Bioacoustics) 分野において鳥類の個体数把握や海洋生物の生息状況、海洋汚染状況の把握といった場面で、音によるモニタリングを行うという本来生態学が持つ意味に視座し得る研究及び調査がなされてきた。Krause (1987, 2002, 2012) はサウンドスケープという概念を用いる際に、受聴可能な生物種の発する音を「バイオフィオニー(Biophony)」と定義した。また、風や雨、雷、小川や海など地形や気候条件によって発せられ、受聴される音を「ジオフォニー(Geophony)」と定義した。さらに Pijanowski ら(2011a)は、上記の分類に加え、人間活動によって発せられる音 (交通音や掘削音など) を「アントロフォニー(Anthrophony)」と定義した。図2にサウンドスケープの構成要素を示す。生態学では、ある群が生息する環境に関し、環境要因や生活資源の棲み分けが行われるというニッチ (Ecological Niche) という概念が存在する (宮下、野田, 2003)。Krause (1993) は、彼のそれまでの数千に渡るフィールドレコーディングワークから、自然界のサウンドスケープに関して、豊かな自然環境では哺乳類や鳥類、昆虫類の鳴き声は、それぞれ時間、空間、周波数において独自の位置を占める。すなわち動物の音声コミュニケーションにおける棲み分けが行われる (Krause, 2012) という“音のニッチ仮説”を提唱した。このような流れを踏まえ Pijanowski ら

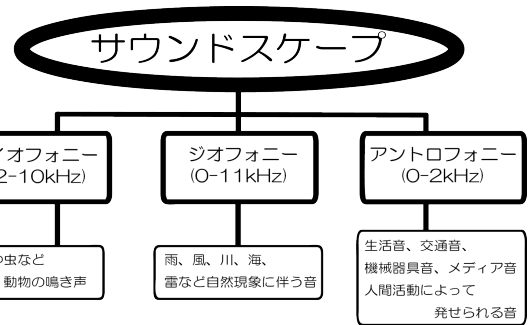


図2 サウンドスケープの構成要素
Krause (1987, 2002, 2012) を基に筆者が作成

(2011a, 2011b) は「サウンドスケープエコロジー (Soundscape Ecology)」を提唱した。サウンドスケープは環境を生成変化していくプロセスの一つであり、我々が環境を認識する際に得られる情報の一種としてサウンドスケープに着目することで、人や生物が活用する生息環境の多角的かつ客観的な理解が可能となる (Farina, Belgrano, 2006)。表2にサウンドスケープエコロジーの取り組むべき課題を示す。

3-2. 音声収録調査結果

(1) 調査地における自然音と人工音の割合と緑被率の相関係数の算出結果

各調査地における自然音と人工音の割合の平均値と中央値をとり、音声収録機器を設置箇所周辺の緑被率とのピアソン積率相関係数を算出した。

結果、表3,4に示すように、いずれも0.4以上であり、正の相関関係がみられた。

表2 サウンドスケープエコロジーにおける6つの検討課題

課題	各検討課題における課題項目
1. 環境音の測定及び定量化	1-1 ある景観で受聴できる音をバイオフィオニー、ジオフォニー、アントロフォニーに自動的に区別するツールの開発 1-2 アントロフォニーは、どのようにバイオフィオニーと周波数や時間間隔などの構成が異なるか 1-3 どのような音が生態系の健全性を損なうか
2. 環境に対する従来の尺度とは異なる時空間変化の理解	2-1 景観パターンに応じてサウンドスケープがどのように変化するか 2-2 サウンドスケープが土地利用パターンによってどのように異なるか 2-3 自然生態系によって構成されるサウンドスケープだけでなく、生態系において人間活動がサウンドスケープにどのような影響を与えているか 2-4 植生構造が複雑であれば、サウンドスケープの多様性は豊かであるか 2-5 異なる時間帯、時間経過によってサウンドスケープがどのように異なるか
3. 気候や気象などの諸条件が音に与える影響	大気、土および水などの温度、日射条件、湿度、暖房度日および水分収支によってバイオフィオニーやジオフォニーがどのように変わるか
4. 野生生物の生息環境のサウンドスケープに与える影響評価	雑音や周囲に鳴り響く音(水の流れる音やおよび風の音など)などが、野生生物種および個体数にどのように影響するか
5. 人間活動がサウンドスケープに与える影響の解明	5-1 エンジン音などの交通騒音、ベル、サイレンなどの機械音が、どのようにサウンドスケープに影響するか 5-2 国立公園や都市における騒音抑制と同様に、サウンドスケープを保護するためにどのような法整備が必要か
6. サウンドスケープが人間に与える心理的かつ身体的影響の解明	6-1 自然音が人間の自然への親しみの発展にどのように影響するか 6-2 文化的な背景、居住環境、年齢などの違いがどのようにサウンドスケープの知覚に影響を与えるか 6-3 受聴可能な自然音が減少し、騒音が増大するとき、人間にどのような影響を与えるか

出典: Pijanowski ら (2011a) を基に、筆者が作成

表3 自然音と人工音の割合と
緑被率と相関係数算出結果（夜間）

平均値 半径 50m	中央値 半径 50m	平均値 半径 100m	中央値 半径 100m
0.578742757	0.551814397	0.503088614	0.471557536

表4 自然音と人工音の割合と
緑被率と相関係数算出結果（昼間）

平均値 半径 50m	中央値 半径 50m	平均値 半径 100m	中央値 半径 100m
0.765530226	0.739180174	0.802919277	0.782609498

(2) 秋の鳴く虫の定量評価結果

調査の結果、確認できた種数（以下、出現種）は全調査地を通して16種であった。固有種などの事例は見られなかった。

各調査地点における多様度算出結果を図3に示す。

4. まとめと考察

本研究では、まず音による都市部における生態系評価（状態評価）、開発事業に伴う環境アセスメントにおける生態系評価（影響評価）の将来的な導入を目標とし、既存の知見を整理した。また、それらの知見を踏まえて秋の鳴く虫を対象とし、音声収録調査を神奈川県横浜市内の都市緑地にて行なった。

その結果、調査によって得られたデータと周囲の緑被率に相関関係が見られた。また、シャノンの多様度指数を算出し、定量化を試みた。図2を概観すると、単一的な植生構造を持つ竹林、人工地、芝地の多様度は低かった。一方、田は単一的な植生を持ちつつも半径50mの緑

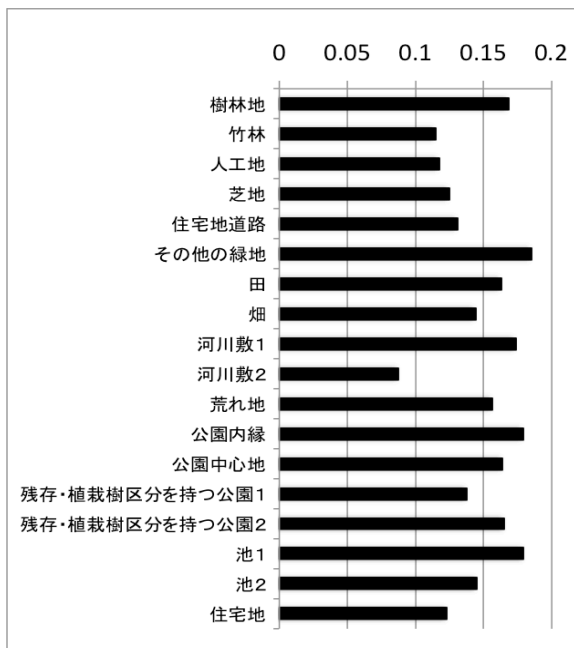


図3 各調査地点における多様度算出結果

被率が91%あり、多様度の確保の要因となったと考えられ、この定量化もまた、周囲の自然環境を反映した結果が得られた。

以上を踏まえて、本研究から明らかになった音による生態系評価の主なメリット・デメリットを表5に示す。音収録によるメリットとして、機器を設置することにより、人員を省いたモニタリングを行なうことが可能である点が挙げられる。PC処理速度の向上などの進歩から、データの保存や視認性のあるスペクトル分析が容易となった今、客観性の高さを維持しつつ、幅広い対象種を取り扱える点などから今後の自然環境モニタリングにおいて有用性が望まれる。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人都市緑化機構平成25年度調査研究活動の助成を受けました。

参考文献

大庭照代 (1999), 環境モニタリングへの生物音響学的アプローチ, 千葉中央博自然誌研究報告 (J.Nat.Hist.Mus.Inst., Chiba) 5(2):115-126
 橋詰直道 (1979), 東京大都市圏の緑地減少について, 駒澤地理 15, 83-92
 松浦一郎 (1990), 虫はなぜ鳴く—虫の音の科学(自然誌ライブラリー), 文一総合出版, 162pp.
 横山秀司 (1995), 景観生態学, 古今書院, 207pp.
 Botteldooren D, Coensel B, De Meur T (2004) The temporal structure of the urban soundscape. J Sound Vib 292(1-2):105-123
 Krause B (1987), Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. Whole Earth Review 57 pp.14-18.
 Krause B (2002), Wild soundscapes: discovering the voice of the natural world. Wild Sanctuary Books, Berkeley
 Krause B (2012), The Great Animal Orchestra: Finding the Origins of Music in the World's Wild Places, Little Brown, 288pp.
 Luis J. Villanueva-Rivera, Bryan C. Pijanowski, Jarrod Doucette, Burak Pekin (2011), A primer of acoustic analysis for landscape ecologists, Landscape Ecology, Volume 26, Issue 9, pp 1233-1246
 Marler P, Slabberkoorn H (2004) Nature's music: the science of birdsong. Elsevier Academic Press, San Diego, CA
 Pijanowski BC, Villanueva-Rivera LJ, Dumyahn SL, Farina A, Krause BL, Napoletano BM, Gage SH, Pieretti N (2011a) Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. BioScience 61, pp.203-216
 Pijanowski BC, Farina A, Dumyahn SL, Gage SH, Krause BL(2011b), What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science, Landscape Ecology, Volume 26, Issue 9, pp 1213-1232
 Pijanowski BC, Farina A (2011), Introduction to the special issue on soundscape ecology Landscape Ecology, Volume 26, Issue 9, pp 1209-1211

表5 音による生態系評価の主なメリット・デメリット

メリット	デメリット (課題)
1) 視認による調査と比べ、收音とPC上のスペクトル分析によって確認種数が増加	1) 設置した1本のマイクロフォンにより得られたデータが、周囲のどれほどのエリア (m ²) を反映したものであるか不明
2) 環境負荷を軽減し、地域の自然環境を長期的にモニタリングすることが可能	2) 在来及び外来種の音声を識別し、生物多様性だけでなく、生態系の健全性を考慮する定量化手法の検討
3) 都市緑地においては、音により自然要素と人工要素の構成割合が把握可能	