

論文

サウンドスケープ概念の生態系評価への応用

相野田 幸司 田中 章

現在の生態系評価は、時間と労力を要することや調査者の知識によって評価結果が左右されるなどの課題がある。そこで本研究は、サウンドスケープ概念を応用した簡易的な生態系評価の可能性の検討を目的とし、まずサウンドスケープとその周辺学術領域における知見の整理を行なった。そして音声データのバイオフィニーとアンソロフォニーの割合の解析による周囲の生態環境把握に着目し、得られた知見をもとに 26 箇所の調査地にて屋外收音調査を行なった。結果、昼間（6am-6pm）における各調査地の音声データと周辺緑被率の間に正の相関が認められた。さらに今後のサウンドスケープ概念の生態系評価への応用方法として、市民参与と環境教育の観点も交えてスマートフォンを用いたサウンドスケープ評価とそのデータベース化の枠組みを提案した。

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、バイオフィニー、アンソロフォニー、生態系評価、緑被率、データベース、スマートフォン、環境教育

1 はじめに

現在、都市部においては緑地が減少しており [1]、都市緑地生態系及び生物多様性が失われつつある。生物多様性国家戦略 2012-2020 においても、生物多様性の危機の一つとして開発による生物種の生息地及び生育地の減少が挙げられている。都市域に現存する緑地の保全、もしくは新たに創造する場合、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 [2]。生態系評価は、①時間と労力を有する、②定量的評価より定性的評価が主体で主観的な評価が多くわかりにくい、③調査者の知識や経験によって評価結果が左右される、などの課題がある [3] [4]。また、近年の簡易アセスメントに対する要求の高まりなどもあり [5]、今後、より簡易かつ定量的な生態系評価の必要性が高まるだろう。これまでに、トロルが提唱した「ランドスケープエコロジー (landscape ecology)」[6] 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、多様な因子の相互作用及びそれに関わる人間の作用を分析の対象とし [7]、生態系評価において、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 [8]。

1967 年に R.M. シェーファーは「ランドスケープ

(landscape)」に基づいて音を「風景」の一部と認識したうえで、「サウンドスケープ (soundscape)」という概念を提唱した。先に述べた生態系評価における課題を解決するため、本研究ではサウンドスケープを自然環境の一部と認識したうえで、生態系評価への応用の可能性を考察した。

2 研究方法

本研究を進めるにあたって、以下の二つを研究項目とし、議論の構築を行なった。

1) サウンドスケープとその周辺学術領域における知見の整理、2) 1) の項目で得られた知見から今後のサウンドスケープ概念の生態系評価への応用方法として、スマートフォンアプリケーションを用いたサウンドスケープ評価を提案した。

1) の項目に関してはシェーファーの著作物及び関連書籍をはじめ、その他後述する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った。2) の項目に関しては、得られた知見や方法論を適用し、後述するバイオフィニーとアンソロフォニーの占める割合を算出するアルゴリズムを新たに作成し、神奈川県横浜市やその周辺に位置する緑地、樹林地、竹林、人工地などを含めた計 26 箇所における收音データの分析を行なった。

3 研究結果

3. 1 サウンドスケープとその周辺学術領域における知見の整理

(1) サウンドスケープの定義

シェーファーは 1965 年にカナダのヴァンクーヴァー

AINOTA Koji
東京都市大学環境情報学研究科環境情報学専攻
2014 年度卒業生
TANAKA Akira
東京都市大学環境学部環境創生学科教授

に新設されたサイモン・フレーザー大学に赴いた際、周囲を飛び交う航空機騒音に触れ、「防止」や「規制」といったアプローチに限界を感じ、騒音問題を含む音環境の全体を扱う研究の方法論を模索する必要性を感じていた [9]。その後、「サウンドスケープ」という概念を提唱した。最終的にサウンドスケープは「個人、あるいは特定の社会がどのように知覚し、理解しているかに強調点の置かれた音の環境」と定義された。

(2) サウンドスケープエコロジーの提唱

(a) サウンドスケープの構成要素

1960 年代に提唱されて以来、サウンドスケープという用語の定義は、様々な解釈がなされてきた。自然環境のサウンドスケープは、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 [10]。一方で、都市域のサウンドスケープ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 [11]。Krause [12] [13] [14] は、サウンドスケープの構成要素として、発生源ごとにジオフォニー (geophony)、バイオフォニー (biophony)、アンソロフォニー (anthrophony) (注) といった 3 つの分類を提唱した。

まずジオフォニーとは、地形、気候、風土などの非生物による音である。すなわち風や雨、雷、川せせらぎ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」と定義した。

次にバイオフォニーとは、人間以外の生物が発する音、すなわち鳥類、セミなどの半翅目やコオロギやキリギリスなどの直翅目の昆虫類、カエルなどの両生類、哺乳類が発する音である。バイオフォニーは、地域の緯度、季節、一日における時間帯によって異なるパターンを有しており、ある地域環境の生物群系の様相を反映するものである。例えば鳥は鳴管を伸縮させ、鳴き声は大きく分けるならば、地鳴き、つまり呼び鳴き (calling song) と囀り、つまり求愛鳴き (courtship song) に分類にされる。地鳴きは短く単純なもので、年間を通じて雌雄両方によって発せられる。一方囀りは長く複雑な構造によって、繁殖期にオスにより発せられる [15]。その他、雛が親に対して採餌を催促する採餌音 (begging call) がある。カエルは体内器官の鳴嚢を伸縮させ、発声する [16]。カエル目の発する鳴き声は鳥類ほど多様ではないものの、変温動物である両生類は外気や土壌、水温に左右される [17]。爬虫類の鳴き声もまた同様である。昆虫綱半翅目や直翅目であるセミやバッタ、そしてコオロギなどは、彼らの翅を擦り合わせるによって発音している [16] [18] [19]。陸生哺乳類の鳴き声は種や個体によって多様なものであり、方言のように同種であっても地方やコミュニティ内におけるコンテクストな

どによって異なるケースがある [20]。野生生物の鳴き声すなわち発音・発声コミュニケーションは、その土地に生息する種のコミュニティ、生態系の形成に欠かすことのできないものである。

最後に、アンソロフォニーとは、人間活動によって発せられる音である。すなわち、車や鉄道、航空機などの交通機関が発する音、機械音、アナウンス音、楽音などである。道路交通網は非常に重要なインフラストラクチャーとされている [21]。しかし、交通騒音は土地利用や区画などの境界を越えて伝播し、管理が困難である [22]。道路交通網が整備された都市域において、交通騒音は周波数 2kHz 以下の帯域を占めるアンビエントノイズ (ambient noise) として観測される [12] [13] [14] [23] [24]。一方で、道路や鉄道敷などに面した場所または上空を航空機が通過する場所では、しばしば突発的に高い騒音レベルを伴う交通騒音に生物は直接曝されることになる。

サウンドスケープの構成要素としてこのような発生源別による分類は、音の観点から人間活動が野生生物に影響を与えるか、生態系評価において大局的な因果関係を考察する視座を与える。サウンドスケープの観点から、人間活動が発音・発声野生生物 (vocal animals) に与える影響から、マスキング効果 (masking effect) やロンバード効果 (lombard effect) などの要因による生態系の健全性損失が危惧される。

マスキング効果とは、交通騒音による野生生物の同種間および異種間の鳴き声、すなわち発音・発声コミュニケーションをマスクし、阻害を示す [25]。交通騒音によるマスキング効果には音の高さを示す周波数に対するものと高い騒音 (音圧) レベルによるものとが挙げられる。マスキング効果により捕食者の闘争鳴きや接近を容易にさせるなど、交通騒音による間接的な生態系の攪乱も起こり得る [10] [26]。さらに鳥類の場合、雛が発する求食音 (begging call) に親が気づかないことも起こり得る [10] [27]。

野生生物の鳴き声がマスキングされる際に、一部の鳥類と両生類にロンバート効果が生じる [10] [26] [27]。ロンバード効果とは、信号対雑音比 (Signal-to-Noise Ratio ; SN 比) が低い際、すなわち周囲の騒音レベルが高い際に、話者が伝達のために音の大きさを示す振幅の増大 (振幅変異) や音の高さを示す周波数変異が行なわれることである [28]。野生生物の鳴き声におけるロンバード効果が生じる例として、マスキングの脅威に晒される時にシジュウカラ *Parus minor* は通常より高い周波数帯で発音する [26]。

さらに、高い音圧を伴って突発的な交通騒音 (例えば、急制動音や航空機の低空飛行音など) が頻繁に発生する地域の場合、野生生物の行動、即ち繁殖、営巣、採餌な

どの行動に急激な影響を与え、その地域における種のコミュニティの崩壊および生息数の減少を誘発する [29].

それでは、何をもってサウンドスケープ概念を生態系評価に適用した際に、その土地の生態系が健全性、生物多様性が豊かさを判断できるだろうか。Krause [30] は彼のそれまでの数千に渡る世界各地で行なった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 [14] という“音のニッチ仮説 (The Acoustic Niche Hypothesis)”を提唱した。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 [31]。つまり野生生物にとって発音・発声コミュニケーションは、ある地域の環境や時間帯における音のニッチを巡る競争である。

同種であってもニホンアマガエル *Hyla japonica* は同じ生息空間に異なる群れがある場合も一方の群れに鳴き声がマスキングされないように、発声のタイミングを変えることが明らかとなっている [32]。ロンバート効果は、まさに音のニッチをめぐる競争によるものである。今日までロンバート効果が見られた種は一部の鳥類や両生類であり、鳥類や両生類が捕食する昆虫綱半翅目や直翅目の虫は、翅を擦り合せて発音する器官の構造上、交通騒音に適応不能である。被食者の欠如は、その後の捕食者生息環境の損失を招くことが予想される。また、急激な都市化が進む地域の場合、生物にとってロンバート効果による適応すら極めて困難となる可能性も考えられる [33]。

(b) サウンドスケープエコロジーの学術領域

Krause によるサウンドスケープ構成要素の分類などを踏まえ、Pijanowski ら [23] [24] は「サウンドスケープエコロジー」を提唱した。サウンドスケープエコロジーによって取り扱われる分野は、生態学 (ecology)、や生物音響学 (bioacoustics)、心理音響学 (psychoacoustics)、シェーファー音響生態学 (acoustic ecology) が含まれる。サウンドスケープエコロジーは総じて横断的に様々な分野を扱う学際領域であり、各分野は包括的かつ相補完的な関係にある。つまり、シェーファーの提唱した従来のサウンドスケープ論である、人間におけるサウンドスケープの知覚と認識のみならず、野生生物におけるサウンドスケープの知覚と認識を考慮し、これまでの生物音響学的観点からバイオフィオニーを、そして生態学的な観点から、バイオフィオニーやジオフォニーの因果を考察する研究分野である。

生態学は、ある環境の気候や地形などの地理的要因、

生物の生息状況や自然空間などの面積などの諸条件を反映する。野生生物にとって食糧やつがいの相手が見つかるかは、生物がどこを棲みかに選ぶか、生息域の決定にはそのランドスケープの地質、植生、一日の時間帯などが重要な役割を果たす [14]。サウンドスケープはある空間の人間活動の様子のみならず、生物の生息状況や自然現象などの状況を伝える“メッセンジャー”である [34]。サウンドスケープの比較や分析による生態系評価への応用が期待される所以である。

生物音響学とは、生物による発音・発声コミュニケーションおよび生物がどのような器官を有し発音や発声を行うかを研究する学問である [35]。科学技術の応用により自然環境保護に貢献し得る様々な研究が行なわれており [36]、屋外における收音やその波形や周波数スペクトルの分析が容易となった [37]。現代において、音声分析に関する研究も進み、音声認識処理を応用した主に野鳥などの鳴き声を対象とした種の識別も試みられるようになった [38]。識別方法に関して「隠れマルコフモデル (hidden markov model)」、「ニューラルネットワークモデル (neural network model)」、「ウェーブレット解析 (wavelet transformation)」などの理論を応用した識別が試みられている。しかし野鳥などは同種であっても鳴き声に地域差などがあることが報告されており [36]、識別の精度には様々な課題が残る。しかし、この分野は動物間のコミュニケーション方法、音の信号処理や收音手法の確立などからサウンドスケープエコロジーの一端を担う。

心理音響学とは、音そのものが人間に与える心理的かつ身体的影響を考察する学問のことである。騒音は感覚公害であり、主観による判断であることが多い [45]。また、騒音は発生源から離れると減少し、ある程度離れると問題はほとんどなくなる。そもそも騒音とは人々の生活環境及び健康を損なう「好ましくない音」、「無い方がよい音」とされ、各種の規制や基準等が法令により定められ、抑制及び制御の対象となっている。そうした中、環境庁（現、環境省）は騒音の問題を、「地域の音環境保全」という観点から捉え、市民が身近な環境の一部としてサウンドスケープに関心を持つことにより近隣の騒音防止の啓発へ結びつけるべく、1993年から5年間で「音環境モデル都市事業（生活騒音対策モデル都市推進事業）」を対象となる13自治体に実施した [39]。

日本国外においてもサウンドスケープの観点を踏まえた都市計画も近年では議論されている。例えば、Carles ら [40] は、村落、小川、雷、人の利用が多い公園、人の利用が少ない公園、住宅地の計6種の静止画と付随する6種の環境音素材の組み合わせを用い、被験者75名に対し心理実験を行なった。結果、公園や住宅地などにおいて自然の音、とりわけ水の音が被験者

に好ましい印象を及ぼすことを明らかにしている。国内においても 1984 年に NHK が調査を実施し、日本人の好む音として、小川のせせらぎが首位に位置する結果が得られている [41]。

音響生態学とは、シェーファーと研究仲間が設立した「世界サウンドスケープ・プロジェクト (World Soundscape Project; WSP)」によって [9] によって定義された「生態学とは生命体とその環境との関係を研究する学問」である。物理的な側面だけではなく、文化などのコンテクストを考慮し、常に鳴り響く音を基調音、社会や地域環境に属する人々によって、尊重される音である標識音と定義した。例えば、海辺の環境において、海の音が基調音として挙げられる。また、ある環境において 100dB を超える金属音であっても、教会や寺の鐘の音であれば、標識音となりえる [42]。1996 年に環境庁 (現、環境省) が発表した「残したい日本の音風景 100 選」があり、京都の琴引浜の鳴き砂などのジオフォニーが含まれていた。鳴き砂とは、砂の上を歩く際の砂層の摩擦によりキュッと鳴る砂をいい、海洋など地域の砂浜が汚染されることによって音が鳴らなくなることから、鳴き砂のサウンドスケープ保全を通じ、海岸それ自体を保全する活動に結びついた事例があり [43]、サウンドスケープ概念の生態系への応用の可能性が示された。さらに、シェーファーはサウンドスケープという概念を基に、快適なサウンドスケープをデザインするサウンドスケープデザイン (soundscape design)、サウンドスケープの考え方を踏まえた教育を目指すサウンドエデュケーション (sound education) を提唱している。サウンドエデュケーションは、身近な環境に潜む音を聴く能力の回復と育成のために 1992 年に出版されたシェーファーの著書「サウンドエデュケーション」[44]によって示された。同著は、感覚を研ぎすまし、音を意識しながら歩く「音の聴き歩き (sound walk)」を提唱し、その後の環境教育やネイチャーゲームなどにおいて幅広い展開の礎となっている。

(c) サウンドスケープの定量化

サウンドスケープを生態系評価に適用し、議論するためには共通の尺度、すなわち定量化が必須である。現在、音環境評価を実施もしくは騒音制御の取り組みに際し、音の定量化にはデシベル (dB) にて表記される等価騒音レベルが適用されている。生態系評価のための指標として、生物音響学及びサウンドスケープエコロジーの文脈において、Sueur ら [45] によってシャノンの情報理論を基に考案された Acoustic Entropy Index (H) やサウンドスケープエコロジーの分野において Villanueva-Rivera ら [37] がシャノンの多様度指数を応用して考案された Acoustic Diversity Index (ADI),

さらに Pieretti ら [46] による音声データにおける一定の時間区分ごとの音響インテンシティー (音の強さ) 変化分のバラつきを定量化し、多様度として算出する Acoustic Complexity Index (ACI) など、野生生物の発音・発声コミュニケーションの多様性や複雑性を考慮した定量化手法が複数提案されている。

しかしながら、音による多様度の算出の過程には在来種と外来種の区別を行っておらず、外来種の発する音も多様性として含有されてしまう [47]。日本においてサウンドスケープ概念を生態系評価に適用するには、緑地と都市域が混在するという、欧米諸国に比べ国土面積が狭小な島国であるがゆえの事情を鑑みる必要がある。

(3) 日本におけるケーススタディーとしてのサウンドスケープ収音調査

(a) 収音調査の概要

サウンドスケープ概念の生態系評価を日本で適用するにあたって、まずサウンドスケープというものが自然景観特性を反映する情報源として有用であるか検討する必要がある。音と景観特性に相互関係があるならば、例えば緑地と人工物が入り乱れる景観があれば、サウンドスケープにおいてもバイオフィオニーとアンソロフォニーも同様にせめぎ合う様子がモニターされてしかるべきである [48]。フィールドにおいて得られたデータのバイオフィオニーとアンソロフォニーの割合の解析による周囲の生態環境の状態の把握の可能性に焦点を絞った調査から、バイオフィオニーと緑被率の相関関係が相野田、田中 [48] によって明らかにされている。以下に調査の概要を示す。

調査対象地は、東京都市大学横浜キャンパス内保全林及び周辺緑地において、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、などに区分される土地を含む、合計 26 箇所であった。図 1 に調査対象地域、表 1 に調査対象地の概要を示す。

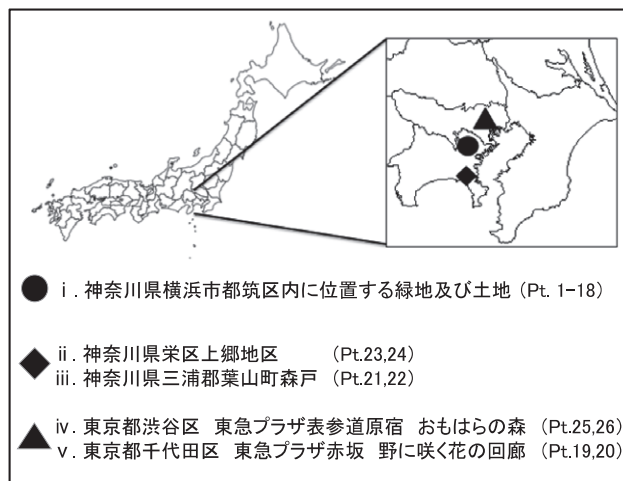


図 1 調査対象地域

調査は2014年9月12日より11月25日まで、Wildlife Acoustics社製 Song Meter2+ を2機、Song Meter3 を2機、計4機の收音機を用いて実施された。收音機はいずれも無指向性マイクロフォンを2本搭載しており、收音はステレオ録音、サンプリング周波数44.1kHz、AD変換能16bitの条件にて行われ、データはwav形式として保存された。

既往研究 [12] [13] [14] [23] [24] などから、バイオフィニーを2kHzから10kHz、アンソロフォニー

を0kHzから2kHzと仮定し、新たに作成されたR言語上で機能するプログラムを用い、バイオフィニーとアンソロフォニーの割合がパワースペクトル密度 (W/Hz) を算出して求められた。調査期間における日の出、日の入り時刻の平均から、6時から18時までを昼間、18時から翌日6時までを夜間として分析が行われた。

(b) バイオフィニーと緑被率の関係

各調査地域で收音されたデータからバイオフィニー

表1 調査対象地の概要

調査地 番号	土地利用類型 区分	調査 地域	周辺の環境状態 数字は植生多様度得点	緑被率 (半径50m)	緑被率 (半径100m)	収録日	位置情報
Pt. 1	樹林地	i	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層	54.2%	26.6%	9/29-10/3	N : 35.561127 E : 139.573871
Pt. 2	竹林	i	中高木層	55.5%	46.5%	9/25-29	N : 35.560096 E : 139.576551
Pt. 3	人工地	i	低木層+低草本層+(人工地盤)	7.6%	26.5%	9/21-25	N : 35.561694 E : 139.574795
Pt. 4	芝地	i	低草本層	48.9%	15.9%	9/30-10/2	N : 35.561142 E : 139.576937
Pt. 5	住宅道路	i	低木層+低草本層	11.2%	6.2%	9/25-29	N : 35.562304 E : 139.575286
Pt. 6	その他の緑地	i	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層	59.0%	34.5%	9/21-25	N : 35.560423 E : 139.576892
Pt. 7	田	i	高草本層	91.9%	74.1%	9/30-10/2	N : 35.556196 E : 139.566681
Pt. 8	畑	i	低木層+低草本層	60.8%	53.7%	9/30-10/2	N : 35.557494 E : 139.565659
Pt. 9	河川	i	高草本層+低草本層+水辺	85.7%	62.4%	9/28-30	N : 35.556714 E : 139.567501
Pt. 10	河川	i	低草本層+水辺	35.9%	25.7%	9/28-30	N : 35.554373 E : 139.567876
Pt. 11	荒れ地	i	低木層+高草本層+低草本層	44.0%	39.4%	9/12-15	N : 35.559101 E : 139.567637
Pt. 12	残存植栽樹区分を持つ公園	i	低木層+高草本層+低草本層	44.7%	43.1%	10/9-11	N : 35.558908 E : 139.576706
Pt. 13	公園内縁	i	低木層+高草本層+低草本層	52.1%	69.1%	9/25-28	N : 35.559837 E : 139.579504
Pt. 14	公園中心地	i	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層	100.0%	86.0%	9/25-28	N : 35.559845 E : 139.580191
Pt. 15	残存植栽樹区分を持つ公園	i	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層	54.4%	32.8%	10/2-5	N : 35.560142 E : 139.573954
Pt. 16	池	i	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層+水辺	71.5%	73.1%	9/15-18	N : 35.555082 E : 139.586293
Pt. 17	池	i	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層+水辺	34.4%	44.7%	10/2-5	N : 35.560120 E : 139.572354
Pt. 18	住宅地	i	生け垣、芝生	10.4%	2.3%	10/9-11	N : 35.557509 E : 139.592359
Pt. 19	大建物・建物 密集地	v	低草本層	6.3%	6.8%	10/27-29	N : 35.676957 E : 139.737378
Pt. 20	大建物・建物 密集地	v	低草本層	6.3%	8.5%	10/27-29	N : 35.677196 E : 139.737301
Pt. 21	その他の緑地	iii	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層+水辺	100.0%	100.0%	10/28-31	N : 35.279074 E : 139.596380
Pt. 22	その他の緑地	iii	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層+水辺	100.0%	100.0%	10/28-31	N : 35.279372 E : 139.602743
Pt. 23	その他の緑地	ii	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層+水辺	100.0%	99.5%	11/1-4	N : 35.362601 E : 139.583531
Pt. 24	その他の緑地	ii	中高木層+低木層+高草本層+ 低草本層+水辺	100.0%	100.0%	11/1-4	N : 35.361457 E : 139.587895
Pt. 25	大建物・建物 密集地	iv	低木層+低草本層 +人工地盤	7.1%	7.0%	11/17-20	N : 35.668652 E : 139.705703
Pt. 26	大建物・建物 密集地	iv	低木層+低草本層 +人工地盤	7.1%	9.0%	11/17-20	N : 35.668421 E : 139.705921

とアンソロフォニーの割合を算出、プロットした例を図 2, 図 3, 図 4 に示す。縦軸はバイオフィォニーとアンソロフォニーの割合、横軸は 1 時間毎に区切られた時間軸である。また黒色はバイオフィォニー、白色はアンソロフォニーを示す。図 2 に示す Pt.6 は調査地域 (i) の中で中程度に緑被率が高く、昼間および夜間ともに同調査地内では、比較的にバイオフィォニーの割合が高かった。また、いずれも夜間は人間による活動が低下するためか、バイオフィォニーの占める割合が高いという結果が得られた。図 3 に示す Pt.21 は、調査地域 (iii) に該当する地点であり、昼夜を通して毎時間ごとのバイオフィ

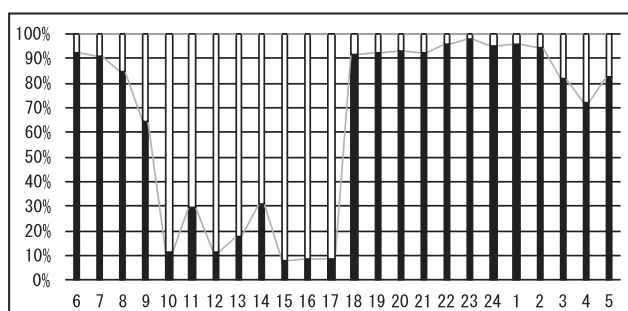


図 2 Pt.6 その他の緑地 (調査地域 i) におけるバイオフィォニーとアンソロフォニーの割合の変化 (2014 年 9 月 24-25 日, 半径 50m 緑被率: 59.00%)

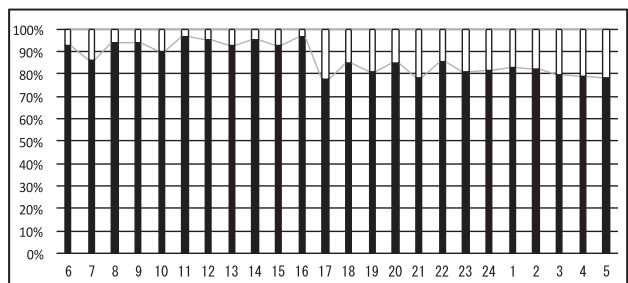


図 3 Pt.21 その他の緑地 (調査地域 iii) におけるバイオフィォニーとアンソロフォニーの割合の変化 (2014 年 10 月 30-31 日, 半径 50m 緑被率: 100.00%)

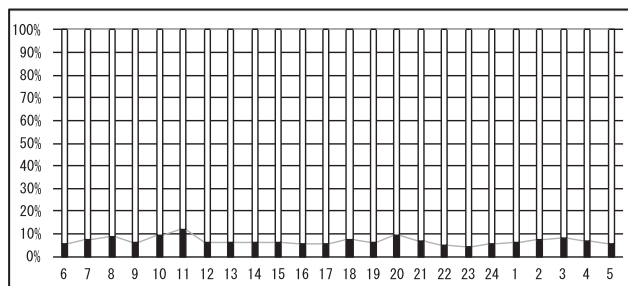


図 4 Pt.19 大建物・建物密集地 (調査地域 iv) におけるバイオフィォニーとアンソロフォニーの割合の変化 (2014 年 10 月 28-29 日, 半径 50m の緑被率: 6.33%)

ニーとアンソロフォニーの割合の大きな変化は見られなかった。調査地域 (ii) も同様であった。図 4 に示す Pt.19 は大都市に位置する屋上緑地であり、周囲の緑被率も総じて低く、24 時間を通してアンソロフォニーが高いと言う結果が得られた。調査地域 (v) も同様であった。

各調査地におけるバイオフィォニーの割合の平均値と中央値をとり、收音機器を設置した箇所周辺の緑被率 (半径 50m, 100m) とのピアソン積率相関係数の算出結果を、表 2 及び 3 に示す。表内 r は相関係数, t は t 値, p は確率を示す。昼間ではバイオフィォニーの割合と緑被率の間に正の相関が見られた。しかし夜間では半径 50m サイズの緑被率とやや正の相関関係がみられたものの、半径 100m サイズの緑被率との間に相関関係は見られなかった。

3. 2 スマートフォンアプリケーションを用いたサウンドスケープ評価の提案

近年になり收音技術は目紛しい進歩を遂げており、先のケーススタディーで挙げたように、機器の設置により調査地にて 24 時間を超える長時間に渡る質の高いサウンドスケープの効率的な収集が可能となった [49]。このように集められたビッグデータの活用方法の検討もまた重要である。

ビッグデータを得られた際、有益な活用の一つにデータベースの構築が挙げられる。モニタリングや生態系評価で得られた結果を一次的なものとしてデータベース化することで、生態系評価における收音されたサウンドスケープデータが有するプロパティの二次的、三次的な活用が促進される [50]。より広域的かつ長期的に自然環境モニタリングを行う場合には、研究機関や行政などのみならず、地元市民による調査の参与が重要である [51]。市民参与型の調査の実施によってデータ点数の増加のみならず、さらには調査そのものが市民への環境教育としての役割を担う [52]。

表 2 バイオフィォニー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
$r: 0.76$ $t: 5.82$ $p<0.01$	$r: 0.73$ $t: 5.37$ $p<0.01$	$r: 0.80$ $t: 6.59$ $p<0.01$	$r: 0.78$ $t: 6.15$ $p<0.01$

表 3 バイオフィォニー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
$r: 0.57$ $t: 3.47$ $p<0.01$	$r: 0.55$ $t: 3.24$ $p<0.01$	$r: 0.50$ $t: 2.85$ $p<0.01$	$r: 0.47$ $t: 2.61$ $p>0.01$

田中章研究室では神奈川県葉山町立南郷中学校の総合学習の一環として、2012～2014年の間にポータブルサウンドレコーダーを用いながら葉山町の有する海辺や山道など、あらかじめ定められた経路を練り歩きながら、どこで何がどのような音が聞こえたかを記録し、葉山町のサウンドマップを作成する調査プログラムを実施した。この活動はシェーファーが提唱するサウンドエデュケーション概念を適用したものであり、サウンドスケープという観点から葉山町の有する自然の魅力を再認識してもらい、そしてそれをきっかけに自然への愛着から、将来の自然環境保全に携わる人材を育む目的があった。参加者は收音調査およびサウンドマップ作りに精力的に臨み（図5, 6）、三年間の活動から“普段あまり気にしていなかったが、耳を凝らすことで周りに様々な音があることに気づいた”や“一つの視点から自然を視るのではなく、色々な視点から捉えたい。自然の音が聞ける地球を大切にしたい”などといったサウンドスケープを通した身近な環境の新たな発見を示す感想



図5 総合学習プログラムにて、ポータブルサウンドレコーダーを片手に收音調査する様子



図6 サウンドマップ作成時の様子

が参加者から得られた。日常的な收音やサウンドウォークの実践により、参加者のサウンドスケープへの関心が引き続き維持されることが望まれる。

しかし收音機などの調査に必要な機器の低価格化が進んでいるものの [53]、依然として市民が市民科学者としてそれらの機器を入手し、日常的にサウンドスケープを記録するには敷居が高い。そこで本稿が提案するのが一般市民に普及が進み、身近な存在となったスマートフォンアプリケーションを用いたサウンドスケープ評価である。図7に将来的な運用を想定したバイオフィオニーとアンソロフォニー割合算出アプリケーションの簡易化したシステム概念図を示す。ユーザーのスマートフォンからは音声データ自体とプロパティの他、GPS（位置情報）データが取得される。これはデータベース化した後の、生態系評価において統計的分析を行なう目的がある。Tenopirら [50] はビッグデータの公開化、共有により既存のデータへの様々な解釈またはアプローチの発端や、異分野間の連携（本提案においては生態系評価を実施する市民、行政、民間企業および研究機関間の連携）が促進されるとしており、本提案ではサウンドスケープ生態系評価や環境教育の促進を目論み、アプリケーションによる算出結果および位置情報データの情報共有および公開を前提としている。ユーザーは個人の端末に算出結果を保存が可能であり、同時に自身や他のユーザーによって收音されたサウンドスケープおよびバイオフィオニーとアンソロフォニーの割合算出結果の試聴および閲覧もまた可能とする。図8はアプリケーション利用時のユーザーインターフェイスを例示したものである。提案するアプリケーションおよびサウンドスケープ概念の生態系評価を普及する上でもユーザーを中心に据えたインターフェイスデザイン（user-centered design）は必須である [54]。

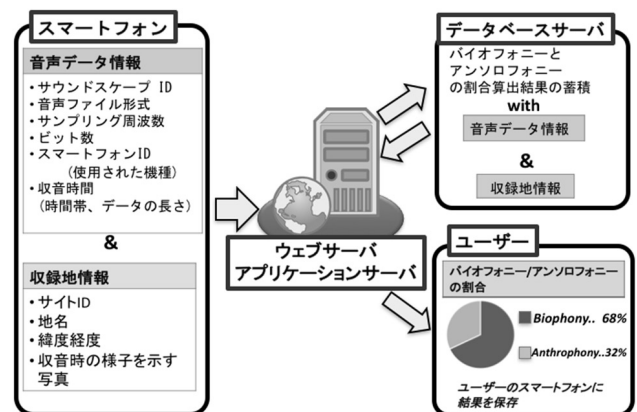


図7 バイオフィオニーとアンソロフォニー割合算出アプリケーションの簡易化したシステム概念図

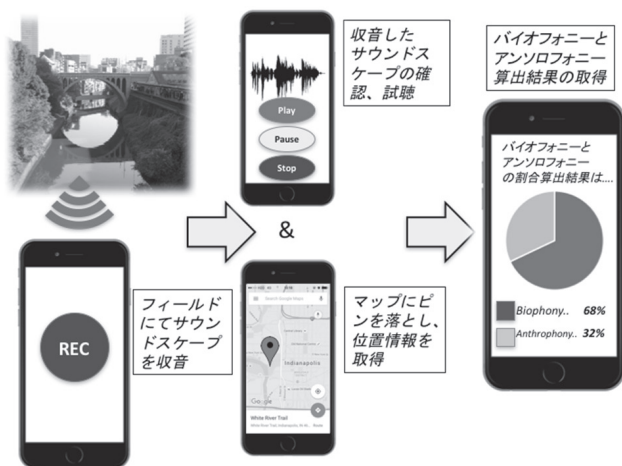


図 8 アプリケーション利用時のユーザーインターフェイス例およびワークフロー

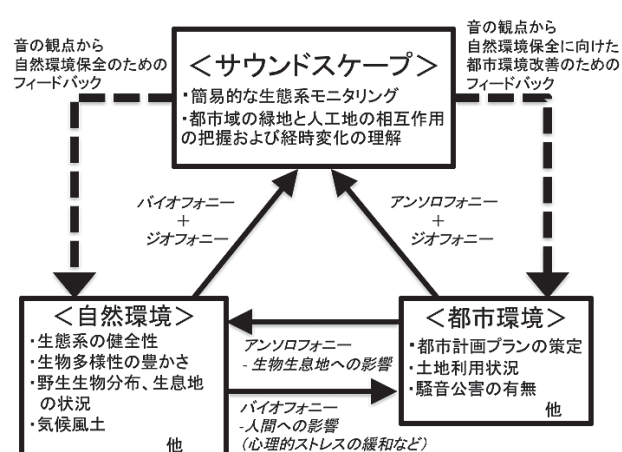


図 9 自然環境保全におけるサウンドスケープの活用概念図（参考文献 [26] より筆者らが改変）

4 おわりに

本研究では、まずサウンドスケープ概念による生態系評価への応用を目標とし、1) サウンドスケープとその周辺学術領域における知見の整理、2) 将来的な運用が望まれるスマートフォンアプリケーションを用いたサウンドスケープ評価の提案を行なった。

サウンドスケープエコロジーは、シェーファーによって提唱されたサウンドスケープという概念の適用範囲を野生生物コミュニケーションやその生息地にまで拡大させ、これまで各々の学術領域によって得られていた知見を相互補完的かつ大局的に集約し、自然環境保全すなわち生態系の健全性や、生物多様性保全に応用し得るものであった。生態系の損失や生物多様性の減少など、自然環境破壊は種数や個体数の減少を示し、それはすなわち動物の音声コミュニケーション、その地域に根ざしていた野生生物などの鳴き声であるバイオフィオニーの減少を意味する。バイオフィオニーの減少は野生生物の生息地の損失を意味する。自然環境保全において、サウンドスケープエコロジー概念の適用により、図 9 に示すような多角的な観点が確保されるであろう。

ケーススタディーとして実施された收音調査では、Krause の仮説からバイオフィオニーとアンソロフォニーの割合を算出する新たに開発されたプログラムが調査で得られたデータの分析に適用され、とりわけ昼間のバイオフィオニーの割合と自動收音機器を設置した周辺の緑被率に正の相関関係が見られることが明らかにされていた。バイオフィオニーとアンソロフォニーが入り交じる都市域の緑地において、このプログラムを用いたサウンドスケープモニタリングは、緑地の面的な喪失によるバイオフィオニーとアンソロフォニーの割合の変化もしくは緑地復元事業などの際の推移、経年変化の把握などに有用だと考えられる。同様に複数地点のサウンドスケ

ープの比較を容易にすると考えられ、この手法が用いられることが望まれる。

サウンドスケープのデータベース化においては、サウンドスケープ概念の応用による生態系評価では機器の設置のみで音声データという長期的かつ客観的なデータを確保でき、PC 上のスペクトル分析によって従来の生物生息調査のように生物標本の採集や捕獲などを伴わず、地域の自然環境を長期的にモニタリングする場合においても環境負荷を軽減できることが期待される。さらにスマートフォンを用いたアプリケーションを運用することにより、専門家のみならず一般市民によるサウンドスケープの調査研究への参与の推進が考えられる。市民参与によって期待される効果として、日本の有する様々な地域のサウンドスケープの收音データ点数の増加が見込まれ、サウンドスケープモニタリング分析の精度向上及びランドスケープ情報とサウンドスケープ情報のモデリングの促進が挙げられる。市民参与による市民自身へのサウンドエデュケーション、環境教育効果やサウンドスケープ保全の普及もまた期待される大きな効果である。今後、この提案の実用化に向けて邁進したい次第である。

(注) ギリシャ語接頭辞 “anthro” が “人、人類の” といった意味を示すことから “anthrophony” と表記されることもある

謝辞

本研究の一部は公益財団法人 都市緑化機構より、平成 25 年度調査研究助成を受け、実施されました。

参考文献

[1] 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
- [2] 田中 章 (2000), 環境影響評価制度におけるミティゲーション手法の国際比較研究. ランドスケープ研究, Vol.62, No.5, pp.170-177
- [3] 田中 章 (2002) 生態系のレストレーション 何をもって生態系を復元したといえるのか? 生態系復元の目標設定とハビタット評価手続き HEP について. ランドスケープ研究, vol.65, No.4, 282 ~ 285.
- [4] 増山哲男 (2007) 環境アセスメントにおける生態系評価. 『野生生物保全技術 第二版』(新里達也・佐藤正孝 共同編著), 259 ~ 274, 海游舎, 東京
- [5] 原科幸彦 (2011) 環境アセスメントとは何か-対応から戦略へ. 岩波書店, 東京, 224pp.
- [6] Troll C (1939), Luftbildplan und ökologische Bodenforschung (Aerial photography and ecological studies of the earth). Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde, Berlin: 241-298.
- [7] 横山秀司 (1995), 景観生態学. 古今書院, 207pp.
- [8] McDonnell MJ, Pickett STA (1990), Ecosystem structure and function along urban-rural gradients, gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology* 71:1231-1237.
- [9] 鳥越けい子 (1997), サウンドスケープーその思想と実践 (SD 選書). 鹿島出版会, 212pp.
- [10] Marler, P. R., and Slabbekoorn, H. (2004) *Nature's music: the science of birdsong*. Academic Press, San Diego, CA, US., 504pp.
- [11] Botteldooren, D., De Coensel, B., & De Muer, T. (2006). The temporal structure of urban soundscapes. *Journal of sound and vibration*, 292 (1), 105-123.
- [12] Krause, B. (1987) . Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. *Whole Earth Review*, 57, 14-18.
- [13] Krause B (2002), *Wild soundscapes: discovering the voice of the natural world*. Wild Sanctuary Books, Berkeley, 208pp.
- [14] Krause B (2012), *The Great Animal Orchestra: Finding the Origins of Music in the World's Wild Places*, Little Brown , 288pp.
- [15] キャッチポール . C.K. (著), 浦本昌紀, 大庭照代 (訳) (1981), 鳥のボーカルコミュニケーション. 朝倉書店, 100pp.
- [16] Gerhardt, H. C., & Huber, F. (2002). *Acoustic communication in insects and anurans: common problems and diverse solutions*. University of Chicago Press.
- [17] Kuhn, B., & Schneider, H. (1984). Mating and territorial calls of the frog *Rana ridibunda* and their temperature variability. *Zoologischer Anzeiger*, 212 (5-6), 273-305.
- [18] 松浦一郎 (1990), 虫はなぜ鳴くー虫の音の科学 (自然誌ライブラリー). 文一総合出版, 162pp.
- [19] 宮武頼夫 (編集) (2011), 昆虫の発音によるコミュニケーション (環境 Eco 選書). 北隆館, 285pp.
- [20] Fletcher, N. H. (2014). Animal bioacoustics. In *Springer Handbook of Acoustics* (pp. 821-841). Springer New York.
- [21] Warren, P. S., Katti, M., Ermann, M., & Brazel, A. (2006). Urban bioacoustics: it's not just noise. *Animal behaviour*, 71 (3), 491-502.
- [22] Barber JR, Crooks KR, Fristup KM (2009) The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology and Evolution* 25 (3), pp180-189
- [23] Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., & Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, 61 (3), 203-216.
- [24] Pijanowski, B. C., Farina, A., Gage, S. H., Dumyahn, S. L., & Krause, B. L. (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape ecology*, 26 (9), 1213-1232.
- [25] Katti, M., & Warren, P. S. (2004) . Tits, noise and urban bioacoustics. *Trends in Ecology & Evolution*, 19 (3), 109-110.
- [26] Slabbekoorn, H., & Peet, M. (2003). Ecology: Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, 424 (6946), 267-267.
- [27] Potash, L. M. (1972). Noise-induced changes in calls of the Japanese quail. *Psychonomic Science*, 26 (5), 252-254.
- [28] Lombard E (1911) Le single de l' elevation e la voix. *Annales des Maladies de l' Oreille e du Larynx* 37, pp.101-119
- [29] National Park Service (2006), National park service management policies. Washington, DC
- [30] Krause, B. L. (1993). The niche hypothesis: a virtual symphony of animal sounds, the origins of musical expression and the health of

- habitats. *The Soundscape Newsletter*; 6, 6-10.
- [31] 宮下 直, 野田隆史 (2003), 群集生態学. 東京大学出版会, 187pp.
- [32] Aihara, I., Mizumoto, T., Otsuka, T., Awano, H., Nagira, K., Okuno, H. G., & Aihara, K. (2014). Spatio-temporal dynamics in collective frog choruses examined by mathematical modeling and field observations. *Scientific reports*, 4, 3891.
- [33] 相野田幸司, 田中章 (2014) 交通騒音が与える野生生物生息環境及び生態系への影響に関する研究. 環境アセスメント学会 2014 年度研究発表会要旨集, p63-66
- [34] Traux B (1984), *Acoustic communication* 2nd edition. Praeger Pub, 284pp.
- [35] Pavan, G. (2008). Short field course on bioacoustics. *Taxonomy Summer School*, 1-15.
- [36] 東谷幸治, 三田長久, 牧野洋平 (2006), 音声情報によるニューラルネットワークを用いた夜行性野鳥の識別. 情報科学技術フォーラム一般講演論文集 5 (2), pp.355-356
- [37] Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., Doucette, J., & Pekin, B. (2011). A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape ecology*, 26 (9), 1233-1246.
- [38] Kogan, J. A., & Margoliash, D. (1998). Automated recognition of bird song elements from continuous recordings using dynamic time warping and hidden Markov models: A comparative study. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103 (4), 2185-2196.
- [39] エコソフィア編集委員会 (編集) (2002), エコソフィア 9 特集 音のエコロジー. 昭和堂, pp.5-49
- [40] Carles, J. L., Barrio, I. L., & de Lucio, J. V. (1999). Sound influence on landscape values. *Landscape and urban planning*, 43 (4), 191-200.
- [41] 平原達也, 小澤賢司, 宮坂榮一, 蘆原郁 (2013), 音と人間 (音響入門シリーズ). コロナ社, 255pp.
- [42] シェーファー, R. マリー (1986), 世界の調律. 鳥越けい子・庄野泰子・若尾裕・小川博司・田中直子 (訳) 平凡社, 411pp, Schafer, R. Murray. (1977), *The Tuning of the World*, 301pp.
- [43] 岩宮真一郎 (2000), 音の生態学—音と人間のかかわり (新コロナシリーズ). コロナ社, 141pp.
- [44] シェーファー, R. マリー (1992), サウンドエデュケーション. 鳥越けい子・若尾裕・今田匡彦 (訳), 春秋社, 182pp, Schafer, R. Murray. (1992), *A Soundscape Education*, 144pp.
- [45] Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O., & Duval, S. (2008). Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PloS one*, 3 (12), e4065.
- [46] Pieretti, N., Farina, A., & Morri, D. (2011). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: the Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 11 (3), 868-873.
- [47] 相野田幸司 (2017) 音による都市域の生態系評価手法に関する研究 *都市緑化技術* No.102
- [48] 相野田幸司, & 田中章. (2016). 音声データと緑被率の関係に関する基礎研究: 音による生態系評価へ向けて. In *環境情報科学論文集 Vol. 30 (第30回環境情報科学学術研究論文発表会)* (pp. 139-144). 一般社団法人環境情報科学センター.
- [49] Villanueva-Rivera, L. J. (2007), Digital recorders increase detection of *Eleutherodactylus frogs*. *Herpetological Review* 38: pp.59-63
- [50] Tenopir, C., Allard, S., Douglass, K., Aydinoglu, A. U., Wu, L., Read, E., & Frame, M. (2011). Data sharing by scientists: practices and perceptions. *PloS one*, 6 (6), e21101.
- [51] 小堀洋美. (2013). 地域をつなぐ生物多様性保全を目指した生涯学習—新たな市民科学の確立に向けて. *環境教育*, 23 (1), 1_19-27.
- [52] Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. (2009). Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59 (11), 977-984.
- [53] Farina, A., James, P., Bobryk, C., Pieretti, N., Lattanzi, E., & McWilliam, J. (2014). Low cost (audio) recording (LCR) for advancing soundscape ecology towards the conservation of sonic complexity and biodiversity in natural and urban landscapes. *Urban ecosystems*, 17 (4), 923-944.
- [54] Abras, C., Maloney-Krichmar, D., & Preece, J. (2004). User-centered design. *Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction*. Thousand Oaks: Sage Publications, 37 (4), 445-456.