

都市空間における快適な音環境に関する研究

神田陽*・田中一成**

Research on the Comfortable Sound Environment in Urban Space

Haru Kanda*, Kazunari Tanaka**

Currently, COVID-19 is changing the learning environment for students and the working environment for office workers. In this study, we focused on environmental sounds and clarified the difference in the environment of residential areas, which is different from educational areas and office areas, from the viewpoint of concentration. I applied two methods, a psychological experiment and a physiological experiment. In the psychological experiment, the environmental sound was evaluated on a 5-point scale, and in the physiological experiment, the concentration was detected using an electroencephalogram measuring device (EMOTIV EPOC X). As a result, it was found that the difference in sound causes a difference in concentration. From the characteristics of each sound, environmental sounds are clustered using SOM, and a characteristic map of each sound is created. And how environmental sounds with similar characteristics actually affect is reflected on GIS.

Keywords: (3~5 語) 騒音 (sound pollution), 脳波 (brain wave), 集中力 (concentration), 自己組織化マップ (self-organizing map), 地理情報システム (gis)

1. はじめに

今日、日本国内では典型 7 公害というものが存在する。これらのうちの一つである、騒音とは定義が曖昧で、一般的に音量ではなく望ましくない音が騒音と呼ばれることが多い。つまり、日常生活の中にも騒音は存在し、常に我々の身の回りの環境音として点在しているのである。環境音がどのような影響を及ぼし、音の種類から人に与える影響を考えている研究は数多くは見当たらない。藤原らは、環境音の変化に着目し、その変動と場の特性の関係を分析している。石橋らは楽曲を用いて、環境音が心理に与える影響を量的に計測した。樋口ら、平栗らは、日常生活に関わる音環境について調査分けをおこなっている。

1.1. 背景

COVID-19 の影響で世界は混乱し、環境の変化が多くの日本国民にも起こっている。これは、仕事や授業はオンラインへ切り替わり普段と違う環境で作業を行う人々が増えたことを意味する。つまり、環境変

化にともない音環境も変化し、いつもとは違う空間での作業に慣れない人も多いはずである。本研究では快適な音環境を構築する為にどのような音が悪影響を及ぼすのか、またどのような音が良い影響を及ぼすのかについて調査、分析をおこなった。「快適さ」というものを評価する際、作業を行う上での快適さを研究するため、集中力が向上したかどうか視点に向け、検討した。

1.2. 研究の目的

研究の目的は、音環境を向上させるための空間の設計や計画への新たな指標を見出すことを目的としている。

1.3. 研究方法

研究方法としては心理的側面と身体的側面の 2 点から研究をおこなった。心理実験をおこなう前に、予備調査でアンケートを出し、大学学部生と大学院生を対象にアンケートをおこなった。アンケートは「あなたが家にいる際に聞こえる音はなんですか」、「あなたが学校にいる際聞こえてくる音はなんです

* 学生会員 大阪工業大学大学院工学研究科建築・都市デザイン工学専攻 (Osaka Institute of Technology)
〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮 5-1 6-1 Tel : 06-6954-4109 または E-mail : m1m21104@st.oit.ac.jp
** 正会員 大阪工業大学工学部 (Osaka Institute of Technology)

か」の2つを聞き、普段から環境音として認識しているものを2つの状況から出来る限り集めた。この集まった環境音ひとつひとつに対して調査をおこなうには多くの被験者数を用いたり、時間があまりにもかかってしまい、現実的で無いことが考えられたため、一旦集計された環境音を著者側で分類し、各グループの代表の音を用いることで、実験に使用する音を減らし、これらの後に続く心理実験と生理実験に用いることとする。分類としては「自然の音」、「人から発する音」、「人の動作音」、「動物の音」、「機械音」、「外部の音」、「その他」に分け、それぞれ「雷、雨」、「咳、人の話し声」、「紙をめくる音、シャープペンシルで文字を書く音」、「鳥のさえずり、カラスの鳴き声」、「時計、空調機」、「車の走行音」、「シャープペンシルが落ちた音」の合計 12 個の音を代表音とし、実験に使用していく。

心理実験は環境音を視覚的に提示し、その環境音を5段階で集中できそうかどうかを被験者に評価させる。1 が最も集中できず、5 が最も集中できるとした。この際、実際に音を被験者に聴取させるわけではなく、あくまで集中できそうかどうかを被験者に尋ねる形でおこなう。この方法をおこなうのは被験者が普段から意識せず耳に入る音がどの程度集中力に影響を与えているかを取り出すことを目的としており、精神面から見て快適なのか不快なのかを検討する実験と言える。

次に生理実験をおこなうが、脳波測定機を用いて集中力を評価した。心理実験とは異なり、実際に音

刺激を与えることで被験者の体の反応からその集中力を評価する。生理実験は肉体的、生理的な反応を直接測定し、定量化していく点が大きく心理実験とは異なる。評価するにあたって脳波測定機で測定した脳波スペクトルから α 波、 β 波などの周波数帯域の強度を見て、それらの活動度から集中力がどの程度あるのかを測定する。今回筆者が用いたものはEMOTIVEPOCXで、解析ソフトにはEMOTIV PROを使用した。図1は、上半分の波形が測定した脳波をフーリエ変換したもので、下半分がその波形から周波数帯域ごとの帯域パワーが表示されている。また、使用する音源はインターネット上に存在するフリー素材から音源を製作し、音刺激とした。しかしシャープペンシルが落ちた音という特定の音源は筆者が検索した中には見当たらなかった為、実際に録音したものを使用した。環境音の種類としては心理実験に用いた12種類の同じ環境音を使用しておこなう。まず、それぞれの音を同時に鳴らし、ある一つの音だけ大きく設定する。パワーポイントを使用し、音になっている時間はディスプレイ上に現れる簡単な四則計算問題を暗算でおこなってもらい、問題ごとの所要時間は10秒とし、回答時間は2秒に設定した。安静時の時間を含め、計157秒の脳波を測定する。脳波測定機は微弱な電流を拾い、波形に影響を及ぼすため、手を動かして解答を記入してもらうなどは特におこなわず、出来る限り動作が少なくなるようにした。また、一般的に集中力を判定する際、High α 波やLow β 波が出現する際、集中していることが示唆されてい

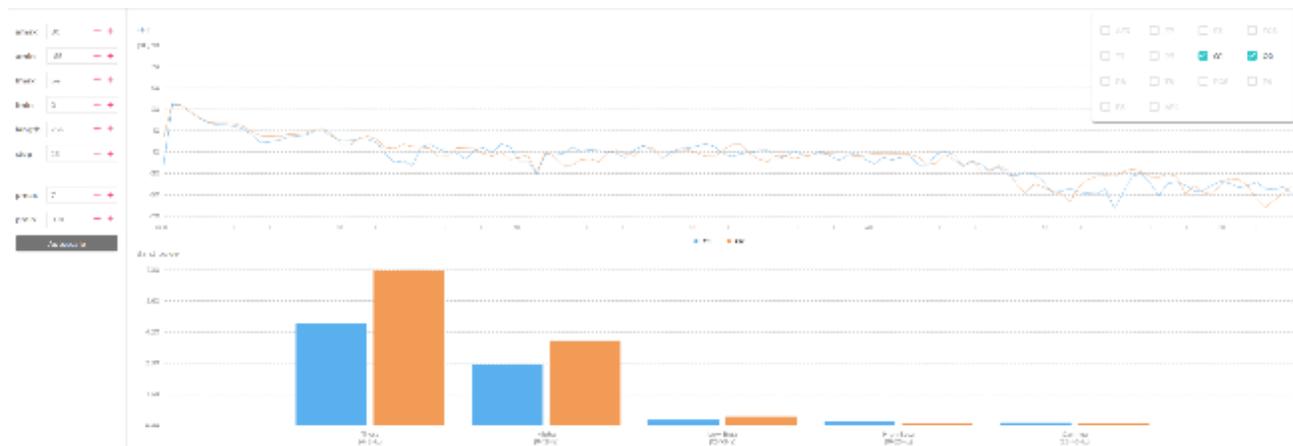


図1 解析ソフト使用時の画面

るため、特に α 波や β 波が現れやすい0.1, 0.2における脳波を測定し、EMOTIV PROを用いてフーリエ解析をおこない、問題ごとの脳波スペクトルの最大値と比較した。また今回用いた簡易脳波測定機であるEMOTIVEPOCXは α 波の周波数帯域をHigh α 波とLow α 波に区切って測定することはできないため、 α 波全域とLow β 波の活動度を調べた。

2. 実験結果

ここでは実験結果について述べていく。

2.1. 予備調査

予備調査は、回答者は男性が21人で55.3%、女性が17人で44.7%の計38人であった。その結果家の環境音は106種類、大学の環境音は70種類となった。図2と図3に7つの分類分けの割合を出した。その結果、家では人から発する音と人の動作音で全体の26.1%、大学では54.3%であり、大学の方が人に対する環境音をより多く認識している結果が得られた。他に大きく違いが見られる点は、外部の音である。大学における外部の音は16.0%、家における外部の音は29.7%となり、約2倍の差が出た。この結果から、家の方が外部の音に意識が向きやすいことが分かった。



図2 家で聞こえる環境音の分類とその割合

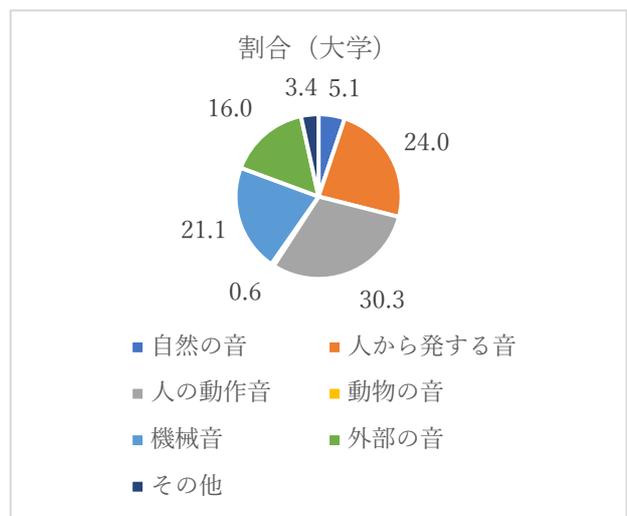


図3 大学で聞こえる環境音の分類とその割合

2.2. 心理実験

次に心理実験の結果を述べていく。各環境音における5段階評価の平均値と標準偏差を以下の表1、2に示す。また、表3にはこれらのデータからt検定($p < 0.05$)をおこなった結果を示している。これらから分かるように人の話し声は非常に低く、有意差があると言える。咳や時計も有意差があるとは言えないが傾向として、咳は低く、時計は高い傾向があると言える。

表1 家で聞こえる環境音の平均点と標準偏差

| 環境音 | 平均 | 標準偏差 |
|-----------------|------|------|
| 雷 | 2.82 | 1.27 |
| 雨 | 3.79 | 1.28 |
| 咳 | 2.92 | 1.09 |
| 人の話し声 | 2.89 | 1.02 |
| 紙をめくる音 | 3.89 | 1.17 |
| シャープペンシルで文字を書く音 | 3.79 | 1.15 |
| 時計 | 3.61 | 1.14 |
| 空調機 | 3.66 | 0.98 |
| 車の走行音 | 3.24 | 1.29 |
| シャープペンシルが落ちた音 | 3.16 | 1.09 |
| 鳥のさえずり | 3.74 | 1.23 |
| カラスの鳴き声 | 3.32 | 1.28 |

表2 大学で聞こえる環境音の平均点と標準偏差

| 環境音 | 平均 | 標準偏差 |
|-----------------|------|------|
| 雷 | 2.65 | 1.21 |
| 雨 | 3.76 | 1.01 |
| 咳 | 2.54 | 1.14 |
| 人の話し声 | 2.19 | 1.15 |
| 紙をめくる音 | 3.68 | 1.16 |
| シャープペンシルで文字を書く音 | 3.76 | 1.14 |
| 時計 | 3.97 | 1.07 |
| 空調機 | 3.41 | 1.04 |
| 車の走行音 | 2.89 | 1.02 |
| シャープペンシルが落ちた音 | 3.11 | 1.33 |
| 鳥のさえずり | 3.84 | 1.01 |
| カラスの鳴き声 | 3.14 | 1.23 |

2.3. 生理実験

次に、生理実験の結果を述べていく。 α 波と Low β 波のパワースペクトルの最高値を時系列順に図に表したものが以下の図4,5である。ペンの落下音を被験者 B に聴取させた際、少しだけ被験者が動いてしまったため、非常に値が大きくなってしまっている。

以下の図から人の話し声は α 波,Low β 波共に値が低くなる傾向が見て取れる。心理実験,生理実験共に集中力が低下する傾向があることが分かった。

3. 分析.

3.1. SOM を用いた環境音の特徴マップの作成

3章では実験結果を踏まえ、自己組織化マップを用いて相似した環境音,または似ていない環境音を可視化することで,どのような環境音が集中力を阻害したり,向上させたりするのかをより詳しく分析

表3 各環境音の t 検定の結果

| 環境音 | P 値 |
|-----------------|--------|
| 雷 | 0.2821 |
| 雨 | 0.4516 |
| 咳 | 0.0733 |
| 人の話し声 | 0.0034 |
| 紙をめくる音 | 0.2097 |
| シャープペンシルで文字を書く音 | 0.4513 |
| 時計 | 0.0778 |
| 空調機 | 0.1431 |
| 車の走行音 | 0.1028 |
| シャープペンシルが落ちた音 | 0.4303 |
| 鳥のさえずり | 0.3505 |
| カラスの鳴き声 | 0.2687 |

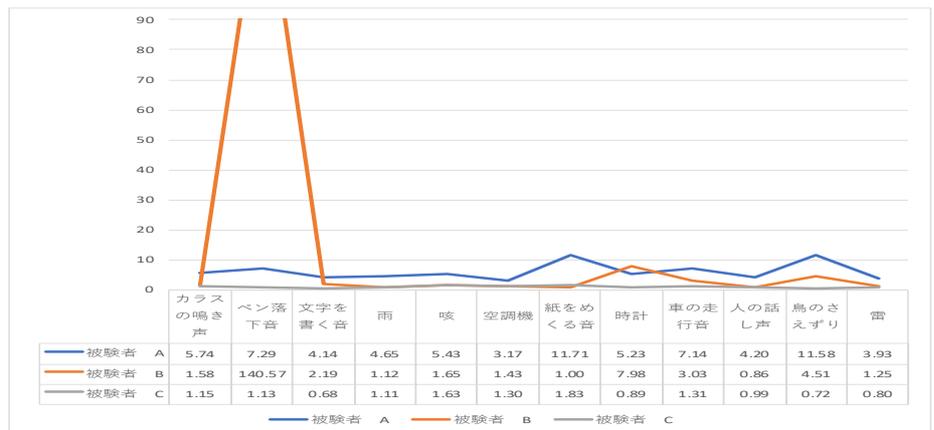


図4 α 波の最高値の比較

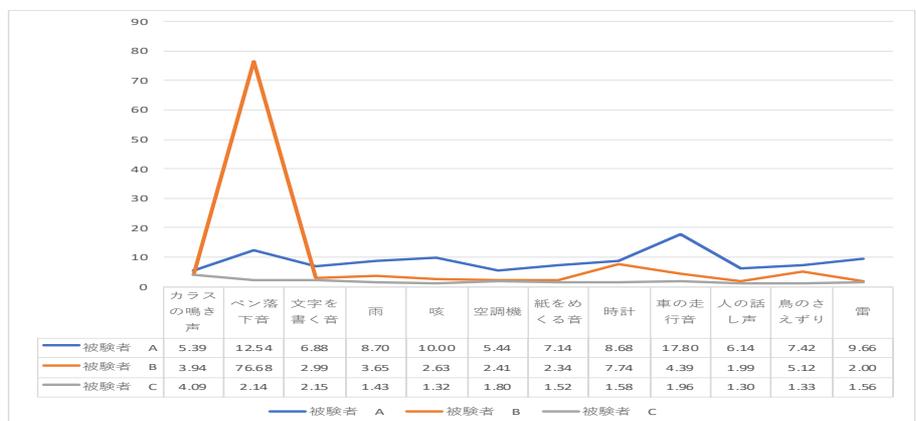


図5 Low β 波の最高値の比較

表4 自己組織化マップに用いた属性表

| | 心理実験平均点 (家) | 心理実験平均点 (大学) | 生理実験α波の反応 | | | 生理実験β波の反応 | | | 継続性 | 断続性 | 突発性 | 自然音 | 人工音 |
|------------|-------------|--------------|-----------|---|---|-----------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | 低 | 中 | 高 | 低 | 中 | 高 | | | | | |
| 1 雨 | 0.8 | 0.8 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2 雷 | 0.6 | 0.5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 3 咳 | 0.6 | 0.5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 4 人の話し声 | 0.6 | 0.4 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 5 紙をめくる音 | 0.8 | 0.7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 6 文字を書く音 | 0.8 | 0.8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 7 時計 | 0.7 | 0.8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 8 空調機 | 0.7 | 0.7 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 9 車の走行音 | 0.6 | 0.6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 10 ペンの落下音 | 0.6 | 0.6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 11 鳥の囀り | 0.7 | 0.8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 12 カラスの鳴き声 | 0.7 | 0.6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |

していく.2章の実験結果では心理実験からの平均点,生理実験での脳波の活動度が得られた.これらの点数や値を各環境音の属性と捉え,さらにそれらに加え,心理実験の結果から音が鳴っている際の継続時間や突発性などが影響していると考えたため,継続性,断続性,突発性などを属性に加えた.また,藤原らによると人工音と自然音で特徴が大きく変わり,人工音の音圧レベルは自然音の音圧レベルより高い.基底音圧レベルの影響が2つで異なるため,これらも音の属性として加えることとした.

表4はこれらの属性と対応する音をまとめたものである.心理実験でおこなった5段階の評価は1を最大値とした数値に置き換えて属性データに打ち込んだ.そしてSOMから特徴マップを作成したものが図6である.人の話し声に最も近いのは雷や紙をめくる音などが特徴として似た環境音であることがわかる.また,人の話し声が集中力を阻害しているということが実験結果から明らかになっているため,雷や紙をめくる音なども集中力を阻害する傾向がある

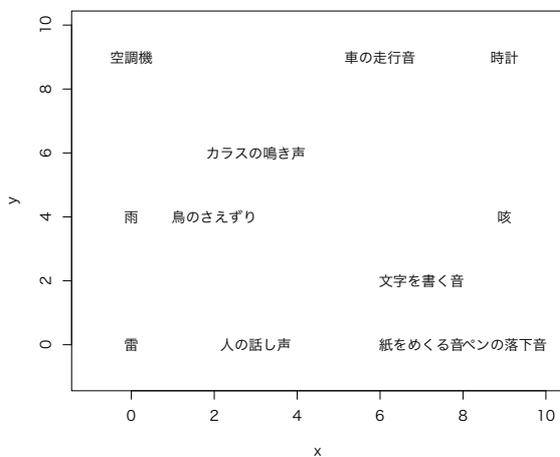


図6 環境音の特徴マップ (SOM)

と言える.また車の走行音は騒音の苦情受付件数のうちの一つであるが今回の自己組織化マップを用いたクラスタリングからは集中力を阻害する人の話し声から非常に離れた箇所にあることが分かった.また,雨,鳥のさえずり,カラスの鳴き声なども同じような特性を持つ環境音だと考えられることが分かる.空調機は似た特性の環境音が存在する傾向が見られなかった.今回実験で使用した環境音の中では少し異質な環境音である可能性がある.

4. 考察

ここでは実験結果や分析結果から考察をおこなっていく.

4.1. 実験結果からの考察

心理実験ではアンケート結果から考察をおこなうと,1つの回答に対して2分化しているところが見られた.2分化しているように見られたのは計3箇所でありそれぞれ,家における「鳥のさえずり」,同じく家における「紙をめくる音」,そして大学における「雨の音」が2分化していた.3つとも評価は5と3に偏りが見られた.

以下では家における「鳥のさえずり」を①,家における「紙をめくる音」を②,大学における「雨の音」を③と呼ぶこととする.①においては5を選択した被験者は,雨,紙をめくる音,シャープペンシルで文字を書く音について最も集中できると思う5を選択した被験者が過半数を占めており,それぞれ80.0%,60.0%,60.0%が5を選択した.一方で①に3の評価をつけた被験者は咳,シャープペンシルが落ちた音,カラスの鳴き声などにそれぞれ73.0%,54.7%,63.7%が3の評価を選択した.

②で5の評価をつけた被験者の傾向として、シャープペンシルで文字を書く音、雨、鳥のさえずり、時計などに5を選択する傾向が見られ、それぞれ81.2%、62.5%、56.3%、50.1%となった。②で3を選択した被験者では、咳、人の話し声、シャープペンシルで文字を書く音、空調機、鳥のさえずり、カラスの鳴き声などがそれぞれ60.1%、50.2%、50.2%、50.2%、50.2%、50.2%となり過半数を占めた。

③で5の評価をつけた被験者の傾向として、時計、鳥のさえずり、シャープペンシルで文字を書く音などに5を選択する傾向が見られ、それぞれ63.6%、63.6%、54.5%であった。③で3を選択した被験者は雷、空調機、カラスの鳴き声に過半数が3を選択しており、それぞれ53.3%、53.3%、53.3%の割合で評価している。

以上の結果から、被験者によって、言葉からイメージしたこれらの3種類の音に差がある可能性があることがわかる。

評価が高いグループは、3つの音を継続的な音としてとらえている。気にならない音量で継続的に続く、同様の音を集中できる音として評価している。逆に、継続的にはとらえることができない音、つまり突然の咳、シャープペンシルが落ちる音など、予期せず起こる音に対して、被験者はマイナスのイメージを持っている。突然鳴くカラスの大きな声や人の話し声を、突発的な音としてイメージしている。このことから、文字で表現された鳥のさえずりや紙をめくる音を、これら被験者は特別な音として捉えている可能性がある。

③もこれと同様の傾向と考えられる。また、別の見方をすると、大学での雨の音を家の中からと同様にとらえているか、教室の中で聞こえる大きな音と捉えているかによって、被験者は集中できるかできないかを判断している可能性がある。

さらに自己組織化マップを用いて分析をおこなった際、人の話し声と最も遠い箇所に位置した車の走行音が集中できる傾向にある時計の音と接近している可能性としては、使用した音源が原因であると考えられる。用いた車の走行音には1台の車が走行している音で、それほどうるさくもなく、車のタイヤが地

面に当たっているホワイトノイズのような音であった。

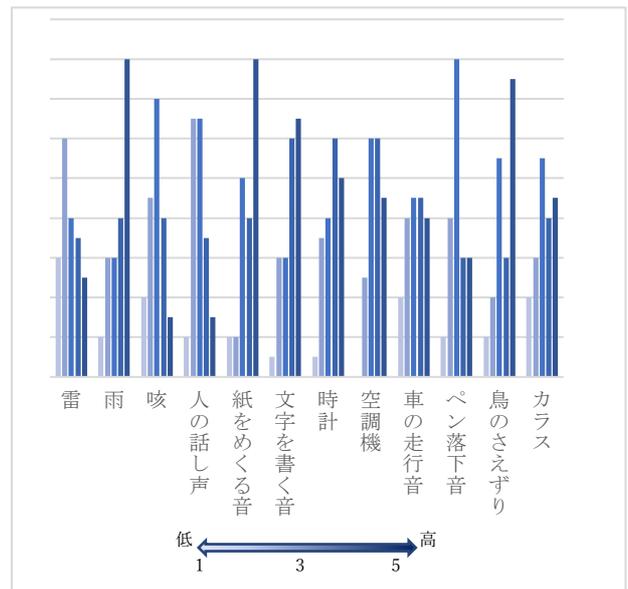


図7 家で聞こえる環境音の評価

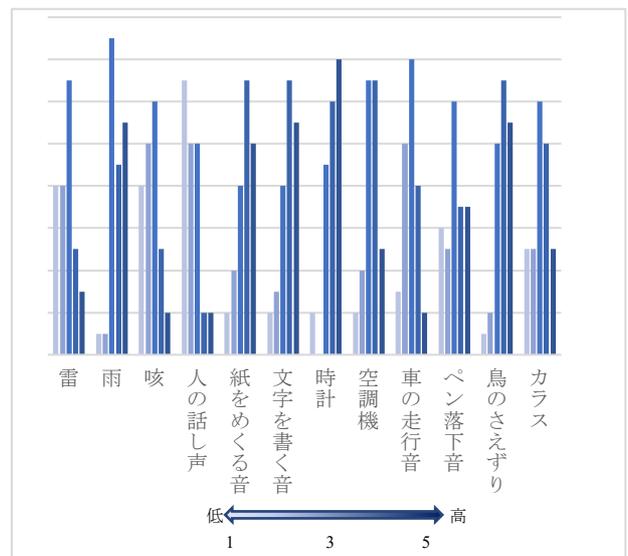


図8 大学で聞こえる環境音の評価

一般的にホワイトノイズなどの周波数特性を視野に入れた研究では音圧レベルや等価騒音レベルなども同時に考えている場合が多いが今回はこれらを固定しておこなったため、これから研究を進めていく上ではおこなっていないかなくてはならないものである。

しかし今回のクラスタリングで一般的に考えられている騒音が車の台数や車の種類で人々に与える影響が変化することがあることから、都市における

自動車騒音 (dB) を環境省のデータを用いて Q GIS で補間し,どのような場所で人の話し声が悪影響を及ぼすのかを検討した.環境省によると人の話し声は通常の会話をおこなう場合約 50~61dB ほどであることが言われているが,会話が盛り上がるなどして大声になると,88~99dB ほどになるとされている.図 9 では車の騒音データを逆距離荷重法で補間し,等高線を引いたものである.地域は大阪府の守口市,門真市,寝屋川市の密集市街地が集中している箇所である.この図では青になるほど車の騒音が小さくなり,黄色に近づくほど大きくなっている.つまり青色が濃いところでは人の話し声が車の騒音より大きくなり,反対に黄色に近づくると車の騒音が人の話し声より大きくなっている.実験の結果から考えると,青に近い地域に住む人の方がより作業に集中しにくい可能性があるのではないだろうか.

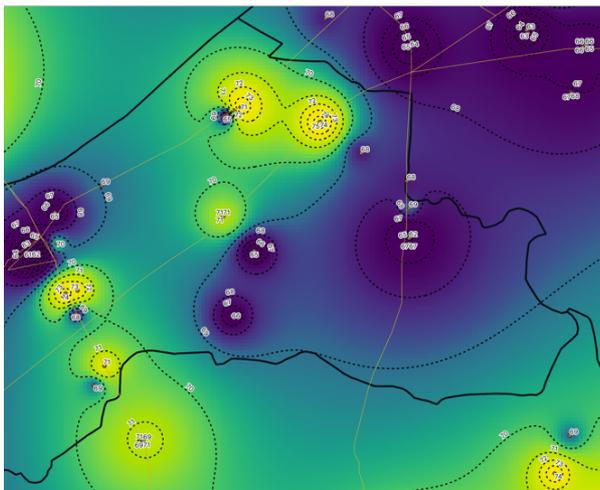


図 9 GIS を用いて表した住宅密集地の補間図

4.2. 今後の展開

本研究では大学と家において,空間の捉え方が異なるのではないかと考えられた.大学では,パーソナルスペースの範囲が狭く,周辺の音に意識が向きやすい.そのため,人から発する音や人の動作音といった比較的自分自身と距離が近い音が聞き取りやすい.反対に家では,パーソナルスペースの範囲が広いため,パーソナル空間内の音は気にならず,外部の音の方がより聞こえやすい.つまり,パーソナルスペース外と捉えられる外部の音が聞き取りやすい.都市レベル

で考えた際も同様で,認識できる範囲が都市の場所ごとに変化する可能性があることが分かったため,これからの研究では場所の変化で影響がどの程度出るのかについても考えていく必要がある.

5. 結論

本研究では,人々が無意識に感じている音の快,不快などを取り出そうとおこなった心理実験と,実際に被験者に音刺激を与え,生理的な反応を直接測定し快,不快を判断する生理実験の2つの方法でおこなった.その結果,人の話し声は集中力という観点から見た時,悪影響を及ぼすことが分かった.また,自己組織化マップを用いることで環境音の特徴から相似した音同士や似ていない音同士を2次元に分かりやすく可視化することが出来た.今後は場所を変化させた上での実験や,音の周波数特性やその音が状況によって変化する場合にはどのように変化するのかを検討していく必要がある.

参考文献

- 藤原俊男,北村眞一,笠原俊宏,甲斐泰夫,『多摩川の環境音の季節変動と場特性』,土木計画学研究・論文集, No. 11, pp175-182, 1993
- 石橋隼,村上晶志,加藤俊一,『環境音の心理的負荷を低減させる楽曲とその特徴量の分析』,社会法人映像情報メディア学会, Vol. 35, No. 20, 2011
- 樋口美香,『生活環境音に対する認知とその全体的特性』,人間環境学研究, Vol. 4, No. 2, pp19-24, 2006
- 平栗靖浩,川井敬二,辻原万規彦,河上健也,矢野隆,『アーケード街路の音環境-熊本市・長崎市中心市街地における実測調査-』,日本建築学会環境系論文集, No. 604, pp1-7, 2006
- 橋本修,茨木大輔,『主観評価に基づくオープンプランオフィスにおける執務作業時のサウンドマスキングの適用に関する検討』,日本建築学会環境系論文集, Vol. 80, No. 716, pp877-885, 2015
- 田原敬,原島恒夫,小林優子,堅田明義,『聴覚障害者における環境音の聴覚イメージに関する研究-聴取経験と聴覚イメージとの関係に着目して』, Audiology Japan 59, pp198-206

中川啓, 河村明, 『自己組織化マップによる地域住民の環境に関する意識の分析』, 土木学会論文集(環境) , Vol. 73, No. 5, I_131-I_140, 2017

小机わかえ, 宮地秀征, 『自己組織化マップを用いた構造-音場連成系における欠陥の同定』, 日本シミュレーション学会論文誌, Vol. 5, No. 3, pp. 31-35, 2013