

第2回

電気通信大学 UEC パスポートプログラムと 埼玉大学 HiSEP および HiSEP-6 との 交流会 ポスター発表会

ポスター集

日時

2023年3月30日(木) 13:30-16:00

場所

電気通信大学 東5号館2階ピロティ

2023.3.30(木)交流会の場所



正門から★マークの所まで進み、右を向くと写真の建物（東5号館）があります。
ここの2階です(赤い四角の所です)。
写真の右部に見える階段を上ってください。

スケジュール

12:00-13:30、参加者各自でポスターを貼る。

13:32 開始の挨拶

13:35-14:20、前半組ポスター発表 45分

14:20-14:25、休憩 5分

14:25-15:10、後半組ポスター発表 45分

15:10-15:20、休憩 10分

15:20-15:50、フリーディスカッション 30分

15:50、講評

16:00、終了

16:00-16:10、かたづけ

16:10、解散

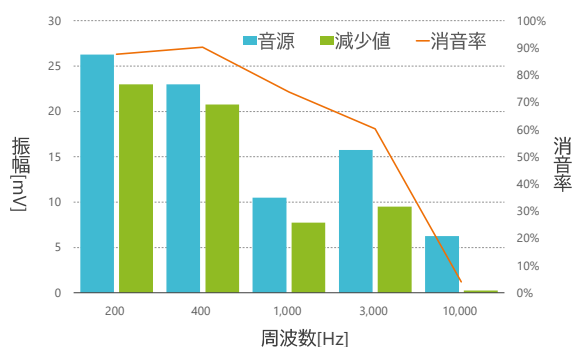
周波数帯ごとの消音範囲の調査

上村 栞生 | 電気通信大学 情報理工学域 2年 2110101

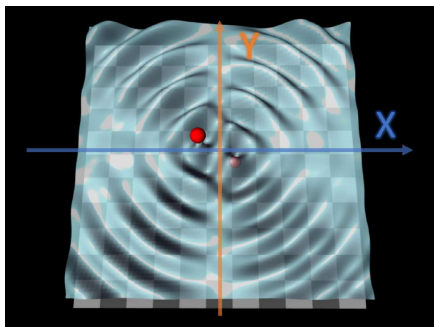
背景・目的

ノイズに対してその逆位相の音をぶつけることによって打ち消すアクティブノイズキャンセリング技術に興味を惹かれたのでこの研究を始めた。

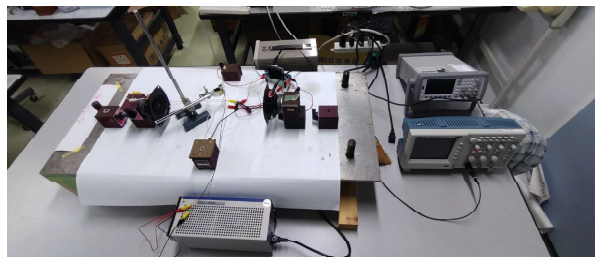
自ら行った事前研究で周波数と消音性能について測定した。結果は下のグラフの通りで相関係数は**-0.90**と強い負の相関があった。



この現象について以下の図の風の範囲が狭まるように周波数が大きくなるほど消音できる範囲が狭まるのではないかと仮説を立てた。これについて平面での消音範囲を実際に計測することによって確かめる。



実験方法



写真のように発振器からスピーカーで出した音を採ってオシロスコープで振幅を[V]で計測する。これを一定の範囲で計測することで消音の変化を調べる。ANCはスピーカーへの配線で片方の配線を逆にすることで逆位相の音を出す。

調査経過

振幅と周波数の関係

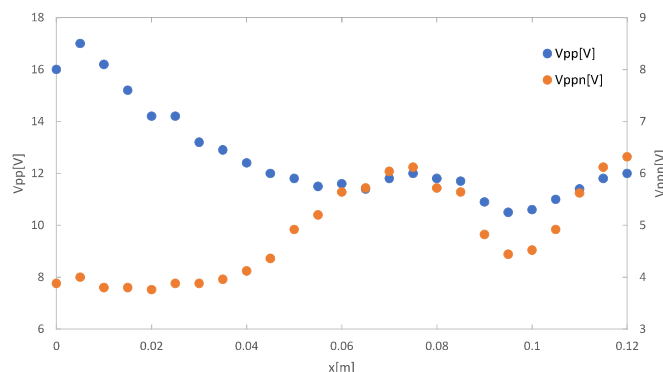


図2. 5kHzでの座標と振幅の変化

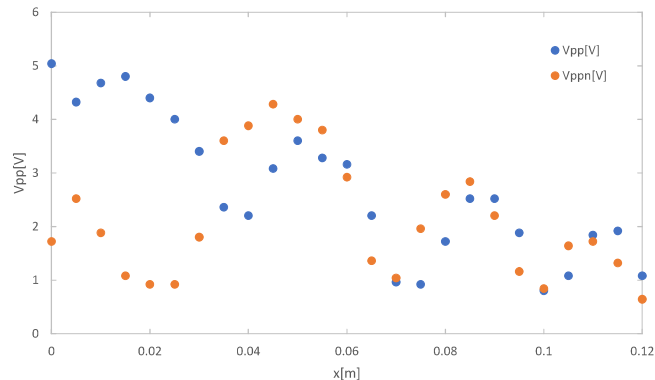


図3. 10kHzでの座標と振幅の変化

- どちらの周波数でも音の減衰とは別種の、座標による変化が見て取れる。
- 10kHzの方は消音後の波が音源よりもx軸内側にずれていることがわかる。
- 10kHzの方では強め合っているのか音源よりも大きな振幅がたびたび観測された。

まとめ・今後の展望

- ◆ 消音される範囲が狭くなるという仮説の根拠は観測することができたが消音範囲の変化については5kHzの方で観測する範囲が狭かったので確認することができなかった。
- ◆ 点で観測しているのではこれからの計測に支障をきたすので連続している安定したデータ取りを行う方法を模索しなければならない。

参考文献

Demon Official Blog
お答えします！
ノイズキャンセリングについて
<https://www.denon.jp>

テクノロジー - QuietOn
<https://quieton.com>
AV Watch - 本田雅一のAVTrends
<https://av.watch.impress.co.jp>

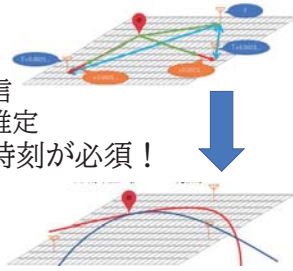
PPS信号を利用した音声TDOA

電気通信大学 情報理工学域 II類
UECパスポートプログラムA
2110591 松本拓真

時刻同期信号を利用し 隔離された複数の端末でTDOA

1, はじめに

TDOA(Time difference of arrival)とは...
複数個所の受信機を用いてエネルギー波を受信
各地点における受信時刻の差から発信地点を推定
受信時刻の差を用いる→正確な時刻が必須!



電波・光・音声等様々な信号で利用可能
先行事例による音声TDOA...
室内における話者特定・歩行検知←小さなスケール

GNSS受信機から得られる1PPS信号を時刻基準信号として利用
隔離された複数のマイクで得られた音声信号を集約してTDOA
音波の発生源の座標を推定することを目指す!

2, 方法

- 1,音速の確認
二台のマイクの入力をオシロスコープ(OSC)で確認
マイク間距離と受信時刻差の増減が線形であることを確認
- 2, TDOA算出方法の習得
理想値によるシミュレーション
音波到達時刻から発信座標を求める数式を導く
- 3, 一台の4chOSCを用いた実験による再現
一台のOSCに1m程度のスケールで配置した4台のマイクを接続
得られた波形の時刻差から音波発信源の座標が求まるか試す
- 4, PPS信号を得た二台のOSCでの再現
二台のOSCのそれぞれ一台のマイクとGNSS受信機を接続
1PPS信号を時刻基準に入力信号を比較して同様に求まるか試す
- 5, ネットワーク越し複数端末での再現
IP通信が可能なマイコンにマイクとGNSS受信機を接続
ネットワークを介した遠隔の2端末間で同様に算出可能か試す。

3, 実験結果

1,音速の確認

2つのマイクの間での音波受信時刻の差はマイク間の距離に比例→今回の手法が可能であると判断

2, TDOA算出方法の習得

4つのマイクと1つのスピーカを設置したとして計算 マイク・スピーカの座標・距離・音速を理想値で代入
既知4座標における信号到達時刻から発信源座標を求める式が導出できた

3, 一台の4chOSCを用いた実験による再現

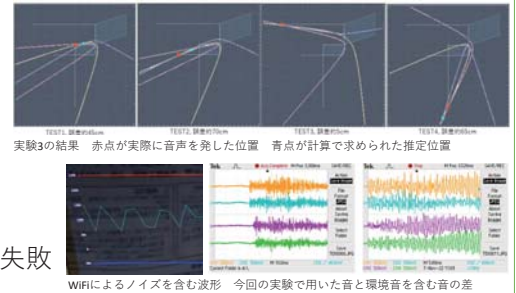
4chオシロスコープに4台のマイクを接続 メトロノームの音を入力
実験2で得た式に代入したところいずれも誤差1m未満で発信源の座標を得た

4, PPS信号を得た二台のオシロスコープでの再現

同様に、誤差1m未満で発信源の座標に重なった

5, ネットワーク越し複数端末での再現

無線LANを利用したところ観測波形に大きなノイズ 音波到達時刻の読み取りに失敗
得られた座標は10m前後の誤差 室内スケールでの実験では誤差が大きすぎる
屋外では音声ノイズ 音波到達時刻の読み取りに失敗 時刻同期以前に目的の音声を検出することのほうが問題と判明



4, 結論

PPS信号で同期した複数の独立計測器による
TDOAを用いた音波発信源の推定に成功した!

今回の一連の実験により、以下の技術・知識を獲得

1. 既知の4地点の受信機によるTDOAの計算
2. TDOAを用いた音源定位
3. PPS信号で同期された複数の独立した受信機を用いたTDOAによる音源定位

一方以下の課題が残る

1. 音声到達時刻の決定手法
2. オシロスコープを用いない観測(≒マイコン+A/D変換器のノイズ削減)
3. IP越えに際する諸問題の解決(≒パケロス,PPSサイクル以上の遅延 etc.)

5, 補記

期末発表スライドはGoogleDriveへ!
ご質問等はぜひメールをお願いいたします



GoogleDrive



E-Mail

<https://drive.google.com/drive/folders/1jMOINUeYnd1xMSR57-a7XC7DesL3PXAs>
m2110591@edu.cc.uec.ac.jp
松本 拓真

用語集

TDOA	: Time difference of arrival	信号の到達時刻の差から信号の発信源の位置を推定する技術。
GNSS	: Global Navigation Satellite System	全世界測位システム。GPSやQZSSはGNSSの一種である。
1PPS	: 1 Pulse Per Second	秒の切り替わりに正確に発される信号。今回はGNSS衛星の原子時計がソース。
マイコン	: マイクロコンピュータ	今回はSeeed Studio XIAO ESP32C3モジュールを利用
パケロス	: パケットロス	パケットデータが紛失されること。UDPを利用したため頻発、問題になった。
UDP	: 通信プロトコルの一種。リアルタイムな伝送に優れるが、TCPと違いデータの到達が保証されない。	
音源定位	: 受信した音声から音の発信源の方向、距離、位置などを特定すること。機械的手法に限らず生物の機能にも言う。	

50Hz 交流電圧を用いたワイヤレス給電

2010084 上野哲弥

電気通信大学 情報理工学域 Ⅲ類 UEC パスポートプログラム B

2023 年 3 月 HiSEP×UECPP 交流会

キーワード：磁場，誘導電圧

- はじめに
コイルを用いるワイヤレス給電を行う場合，送電できる電力量を増やす方法として，コイルにかける電圧を上げる，コイルにかける電圧の周波数を上げる，コイルにコンデンサを接続して回路全体のインピーダンスを下げるなどの方法が考えられる．本実験では，コイルにかける周波数を 50Hz で一定にし，コイルにコンデンサを接続することでワイヤレス給電の効率がどのように変化するかを調べた．

- 実験の方法

図 1, 2 のような回路を作成した．

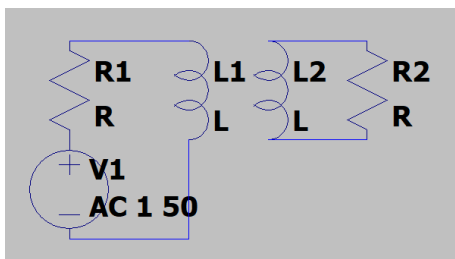


図 1 コンデンサ無しシステム

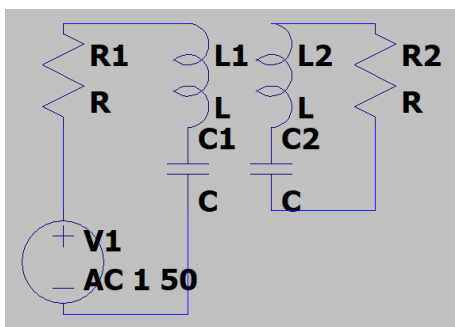


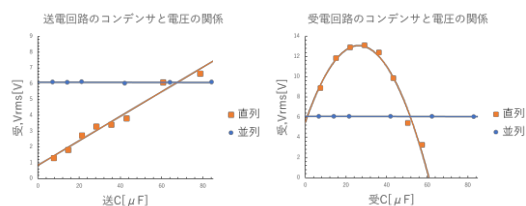
図 2 コンデンサ有りシステム

送電側，受電側双方の電圧と電流の実効値に加え，接続された抵抗，コイル，コンデンサのパラメーターから交流電力を求め，電力の伝達効率を計算した．

- 実験の結果

送信機と受信機の交流電力と伝達効率は表 1 の様になった．

表 1 伝達効率の実験結果



- 考察

伝達効率はコンデンサを回路に実装することによっておおむね向上した．送電側のコンデンサを増やすほど伝達効率が向上したが，電解コンデンサを用いて静電容量を増やすと逆に伝達効率は下がる結果となった．これは電解コンデンサを使用する際には逆向きの電位がかからないようにオフセットを設定する必要がある，送電側と受電側の波形に変化があったためであると考えられる．また受電側ではある時点からコンデンサを増やすと伝達効率が低下した．送電側と受電側の回路はどちらも LC 直列回路であるが，コンデンサの容量を変化させたときの挙動は異なることが分かった．

ストループ効果の反応時間における効果

電気通信大学 情報理工学域 Ⅲ類 3年 2010259 古賀 光

1. はじめに・目的

反応時間に関係する脳のはたらきの中にストループ効果と呼ばれる、色と文字の情報が一致しないときに反応が遅れる現象がある。このストループ効果を確認するために実験を行った。

2. 実験方法

OpenSesame を用いて測定を行った。ディスプレイに表示される文字の色と同じボタンを押す課題、同じ文字のボタンを押す課題、表示された文字と異なる色のボタンを押す課題、別の文字のボタンを押す課題を 180×4×4 回行った。表示される文字は R、G、B で色は赤、緑、青だった。異なるキーを押す課題は Rと G のみ赤と緑のみで行った。被検者にはできるだけ正確に押すように伝えて行った。

[target]

図1. 実験画面
特定の時間間隔で画面に特定の文字が表示される。[target]に1つの文字が代入される。

3. 実験結果・考察

3. 実験結果および考察

表や図に示す通り、色を答える課題でも文字を答える課題でも色と文字が不一致している方がより時間がかかり、F検定による分散の評価をもとにt検定を行って0.05以下の値を得られたので有意差があったと考えられる。

表1 ExcelでのF検定、t検定結果

色課題	文字課題	逆色課題	逆文字課題
0.002	0.002	0.674	0.868
0.005	0.089	0.474	0.391

逆に、目標の色と異なるものを答える課題、目標の文字と異なるものを答

える課題では有意差が得られなかった。これは実験設計の関係上選択肢が2択だったため、選択課題ではなくGo/No-Go課題になってしまったためストループ効果が起こらなかったと考えられる。

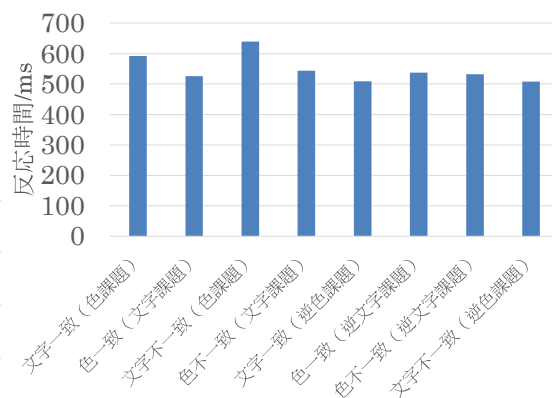


図2. 反応時間のヒストグラム

4. まとめ・今後の課題

4-1. まとめ

ストループ効果は純粋な選択課題で表れてきたが、後半の課題ではわかりやすい応えはでなかった。前回から統計的处理について少し理解が深まってきたので差が出たことが統計的に分かるようになったのは良かった。

4-2. 今後の課題

今後の課題としては、Go/No-Go課題にストループ効果が及ぶにはどう実験設計すればいいか考えるところありそうだ。

5. 参考文献

[1] 「四季」と「色」のイメージ的結びつきによって誘発されるストループ様効果 “
https://www.jstage.jst.go.jp/article/cogpsy/2020/0/2020_77/_pdf/-char/ja
(最終アクセス日 2023年2月1日).

HISEP IN SAITAMA UNIVERSITY

RESEARCH REPORT

IN 2022



RESEARCH ON THE RELATIONSHIP BETWEEN CITRUS SCENTS AND CONCENTRATION

柑橘系の香りと集中力の関係

ERIKO SHIMAMURA

Saitama University Saitama-city, Japan

島村恵理子(埼玉大学理学部基礎化学科)

Abstract: Citrus fruits are effective in improving concentration, but I would like to determine which citrus fruit aroma has the greatest effect on concentration. In this study, I will create essential oils of eight different citrus fruits and after smelling the aroma of each essential oil, I measure concentration using keyboard typing software. It would be a meaningful study if I could successfully compare the effects on concentration among citrus fruits.

1. 序論

よく柑橘類の香りを集中したいときに嗅ぐと良いという話を聞くが、“柑橘類”と一括りにされていて、その中でも効果の大小があるのではないかと興味を持った。そこで柑橘類の中でもどの香りが一番集中力を高めるのか、その香りがなぜ最も効果があったのかを明らかにしたい。

本研究ではみかん、ポンカン、伊予柑、オレンジ、グレープフルーツ、キンカン、レモン、ゆずの精油を用いる。市販のアロマオイルには柑橘類の成分がどれだけ含まれるか不明で、柑橘類以外の成分が集中力に影響する可能性があるため精油を作るところから始める。この8種類であればスーパーに売っているので精油を作ることができ、アロマオイルとして売っている。また代表的なアロマオイルのレモングラスやベルガモットは、スーパーに売っておらず精油を作成できないため本研究では取り扱わない。

2. 方法

(1)精油の作成

以下の工程で精油を作成する。

- ①8種類の柑橘類の皮をむき、はさみで細かく切り刻み500 mLのビーカーに入れる。
- ②①のビーカーにヘキサンを50 mL加え、薬さじで皮を潰す。
- ③ロートをを用いてヘキサン抽出液を100 mLナス型フラスコに入れ、ロータリーエバポレーターでヘキサンを除く。
- ④ナス型フラスコに駒込ピペットでエタノールを約4 mL加える。完成した精油を蓋付きの瓶に移す。

(2)集中力の測定

20名を同じ部屋に集め、制限時間内のタイピング数と間違えたタイピング数を測定できるソフト

(<https://www.spitz8823.com/typing/joukyuu/>)で集中力を測る。まず何も嗅がずに3分間タイピングして被験者のタイピングの技量を測る。次に試香紙に精油を付け、10秒間嗅いだ後に3分間タイピングする。そしてコーヒー豆を嗅いで前の精油の匂いをリセットしてから次の精油を嗅ぎ、これを8種類の精油で行う。全タイピング数のうち間違えたタイピング数の割合を求め、この割合の20人の平均を出す。間違えたタイピング数が少ないほど

集中力が高いということにする。この結果から最も効果のある香りを特定する。

(3)精油の香りと集中力の関係の考察

本研究で用いる8種類の柑橘類の成分が記載されている論文と、(2)で得られた結果をもとに考察を行う。

3. 成果

柑橘類同士で比べた場合何が最も効くのかを明らかにしているものは私が調べた限りでは無かったので、柑橘類同士を比較できれば意味のある研究になると考える。また柑橘類同士で集中力に違いが無くても、本研究で使用する8種類の柑橘類は同等の集中力をもたらすという研究結果が得られるだろう。

4. 今後の課題

研究計画の課題は2つある。1つ目は代表的な柑橘系の精油であるベルガモットとレモングラスで測定できないことだ。2つ目にはにおいの嗅ぎ方についてである。日常生活でアロマを嗅ぎながら作業するときは、アロマディフューザーを使い常に香りを嗅ぎ続ける。実験でもそれに近い状態にしたいのだが、アロマディフューザーを使うと、20名全員が香りを均一に嗅ぐことが難しい。そこで実験では試香紙に精油を付け、タイピングする前に嗅いでもらう。タイピング中は柑橘類の香りがしないため、柑橘類の香りの効果が集中力にきちんと反映されない可能性がある。

5. 参考文献

- ・匂いと脳のストレス応答 | 生物学科 | 東邦大学 (toho-u.ac.jp) (参照 5月19日)
<https://www.toho-u.ac.jp/sci/bio/column/0824.html>
- ・B-018.pdf (ieice.org) (参照 6月28日)
<https://www.ieice.org/publications/conference-FIT-DVDs/FIT2018/data/pdf/B-018.pdf>
- ・プロが教える香りを嗅ぎすぎた時のリセット方法 | 株式会社 ISILK (参照 1月20日)
<https://isilk.jp/%E3%83%96%E3%83%AD%E3%82%B0/4210/>
- ・長谷川登志夫、藤原隆司、「科学者の芽育成プログラム みんなで科学 かんきつ類の香りの違いを比べてみよう」

スペースバルーンを用いた成層圏の高エネルギー現象の解明研究



Saitama University
埼玉大学

西濱大将, 宮崎剛, 蛭澤悠 (埼玉大学理学部物理学科・工学部機械工学システムデザイン学科)
他 ANCO-project (埼玉大学宇宙工学サークルあかとき/名古屋大学宇宙開発チームNAFT)

概要

私たちは、学生の自主研究を行なう場として成層圏を活用することを提案する。そして、その実証の第一歩として実施した成層圏気球によるオゾン濃度と自然放射線強度の測定について報告する。実験は両者の関係性を解き明かすことを目指して行なわれたが、今回はデータを満足に回収することができなかった。しかしながら、実際に実験を行なうことによって、気球運用についての多くの知見を得ることができた。今回得られた経験を次回以降の実験に活かすことによって、学生主体でも成層圏における学術研究が可能になることが期待される。

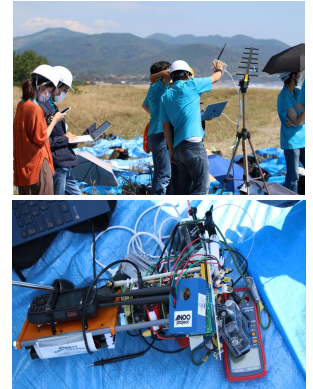
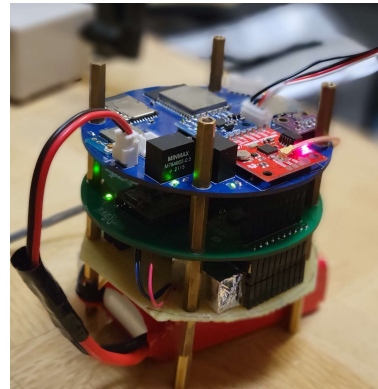
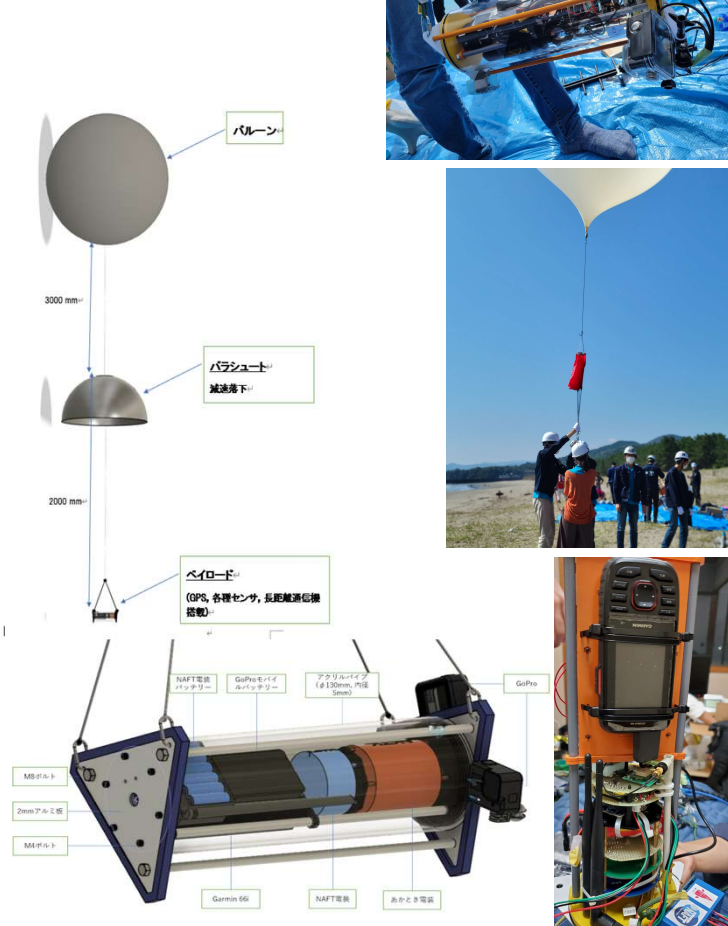
導入

私たちは最近の名古屋大学による研究 [1] で、1 日数回の頻度で生じる明滅オーロラと呼ばれる現象に伴って、地球の周りに存在する高エネルギー電子が成層圏までなだれ込むことでオゾン層が破壊されるということを知った。この研究では数 MeV のエネルギーを持つ電子に着目していたが、地球の周りには他にも高エネルギー現象が存在する。例えば、大気中の放射性同位体からは数 keV から MeV 領域の放射線が放出される。さらに、地球外からやってくる放射線である宇宙線 (cosmic rays, CR) のエネルギーは MeV 領域から超高エネルギーにわたる。これらの高エネルギー粒子は明滅オーロラに伴う電子のようにオゾン層を破壊しているのだろうか。その影響があるのだとしたら、それは紫外線と比較してどの程度だろうか。特に、大半の紫外線が吸収されてしまうであろうオゾン層の下層部 (高度 10 数 km) では紫外線以外の高エネルギー現象によるオゾン層への影響が支配的であることが予想される。私たちはこの疑問に対して、成層圏気球を用いて環境測定を行なうことにより自分たちで回答を得ることを目指す。気球は人工衛星・ロケットに次ぐ宇宙観測手段であり、それにもかかわらず運用コストは他の 2 つよりもはるかに安い。また科学的にも古くは Hess の宇宙線発見 [2] は気球実験であったし、最近でも気象庁のオゾンゾンデ観測に使われており、実は気球は手軽かつ頻繁に観測することができる手段である。もし学生が自身の力で観測気球を運用することができれば、成層圏が学生の自主研究の題材として開かれた存在になることが期待される。このような動機のもとに、私たちは成層圏における学生の自主研究の第一歩として自然放射線強度とオゾン濃度の関係を調べた。放射線検出器およびオゾン検出器を気球に搭載し、1 時間程度の飛行の間に上空のオゾン濃度および放射線強度を同時測定することを旨とした。

[1] Y Miyoshi, K Hosokawa, S Kurita, S-I Oyama, Y Ogawa, S Saito, I Shinohara, A Kero, E Turunen, PT Verronen, et al. Penetration of MeV electrons into the mesosphere accompanying pulsating aurorae. Scientific reports, Vol. 11, No. 1, pp. 1–9, 2021.

[2] Victor F Hess. Observations in low level radiation during seven free balloon flights. Phys. Zeit, Vol. 13, pp. 1084–1091, 1912.

システム概要

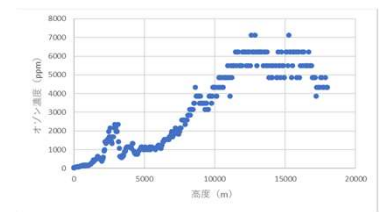


結果

あかとき側の地上局で受信した座標および気圧データから算出した高度をプロットした画像を図 (左下) に示す。通信機器のトラブルにより放球直後からダウンリンクが途絶した。高度 12km~16km 付近でダウンリンクが再度取得できたが、それ以降では再び途絶した。そのため、通信が途絶していた時間の位置座標は取得できていないため図中では直線で補間している。図中黄色の点が取得できた位置座標を平面上にプロットしたものである。

あかとき電装の通信が途絶した原因は不明であるが、熱によるものではないかと推定される。本機体は透明なアクリルパイプを水密のために密閉する構造であった。そのため内部に熱がこもりやすく、また今回の機体では成層圏の低圧・低温環境および落下後の水密を重視するあまり、高度上昇までの直射日光による機体内の温度上昇を考慮できていなかったため直射日光により内部温度が非常に高くなってしまった可能性がある。打上げ当日は日差しが強く、機体全体を日傘により覆い直射日光を避けた運用を行っていたが、機体の外部で別のケースにより水密をしていた GoPro HERO8 が、打上げ直前に熱暴走してしまうという問題も発生していた。このことから、LoRa モジュールの熱保護機能が動作して送信を行えなかったのではないかと考えられる。外気温が低くなる高度においてダウンリンクが再開されたタイミングがあったこともこの考察材料の一つである。

NAFT 側の地上局で受信したオゾンセンサーで取れた値は以下の図 (下右) のようになる。ただし、オゾンセンサーが温度によって大きく値が揺れることが確認できているが、気温のデータを受信するデータに含めていなかったため、具体的にどの程度値が変化しているかの検証はできていない。



今後の展望

本研究では、スペースバルーンを用いて成層圏におけるオゾン濃度および放射線強度の同時測定を目的として第 1 回えひめ南予共同気球実験に参加した。結果としてはデータを満足に得ることができなかったものの、気球運用の知見を得ることができた。また、スペースバルーンを用いた学生の自主研究のハードルを一段下げたと考えている。今後、より回収しやすくするためにより衛星網と地上局の連携を強くし、成層圏での実験、データ回収を確実なものにしていきたいと考えている。

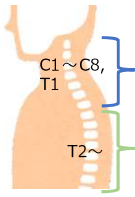
Supported by

名古屋大学学生後援会 様, 埼玉大学学生後援会 様, 愛南町商工会観光課商工観光係 様, 愛媛県 様, HiSEP: ハイグレード理数教育プログラム 様, 個人支援者 様 ([敬称略]). mwntndmik, __U__, Yuki Tommy, omoio, aioria_jpn, SusumuHara, moco_rocket, mobiletama, yuteshima, TOMOKI M, isk2006, Norihiko Tsuzuki, hir_matsui, sng11225, Tsuyoshi Kobu, baspooH, A_Kyoka, Sosuke_M, Shogo0000, msk310, TsuyoshiMiyazaki, takataka6530, Obaman22, ryos_phys, abekan, iszk2022, nataneee, Kazuhiro_lida, guestcc479e0bea54, Takuma Ishibashi, h0125, hokusai234, haru201503, Yuki Hama, tk_su0712, Takaki Sugimoto, kazu_0314, Keigo Sugimoto, ddd3h, oru_nekomimimincar, tk3_BunkaNet, 5tg, monkeymoney)

ブタ胎仔を用いた胸鎖乳突筋と支配神経および腕神経叢の観察

埼玉大学理学部生体制御学科3年 串田千尋

はじめに



- 脊髄神経：脊椎骨の間から枝を伸ばす
- 頸神経は互いに結合したり分岐したりする
- そのパターンは種間で保存されている
- 胸神経は肋骨に沿って整然と枝を伸ばす

目的：ブタ胎仔における頸神経の走行パターンを調べる

考察

- ・頸神経は形態的に2つに大別される
 - ① 胸鎖乳突筋を支配する神経
 - ② 腕の筋肉を支配する神経 **腕神経叢**
- ↑
- ・前斜角筋付近と支配組織付近の結合・分岐パターンは種間の比較に適している

結果

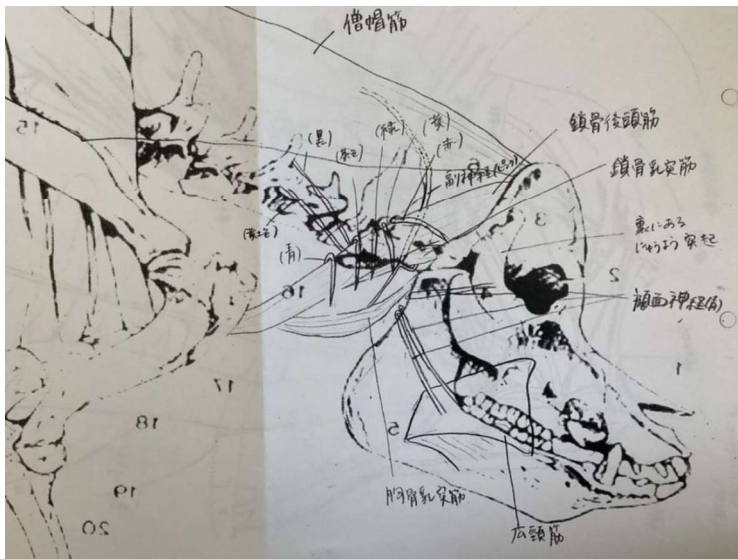


fig.1 ブタ胎仔の胸鎖乳突筋とその支配神経の模式図



fig.2 ブタ胎仔の腕神経叢 (腹側からの観察)



fig.3 ブタ胎仔の腕神経叢 (背側からの観察)

【観察のまとめ】

- ・頭部付近の頸神経：
鎖骨後頭筋と鎖骨乳突筋の下を通過していた
- ・第5頸神経以降：
前斜角筋の下から起こり、腕の筋肉を支配していた
- 前斜角筋の下を通過した直後に他の神経との結合が多く見られた
- 結合した神経はその後すぐに分岐し、支配筋肉の傍で再び分岐するものが見られた

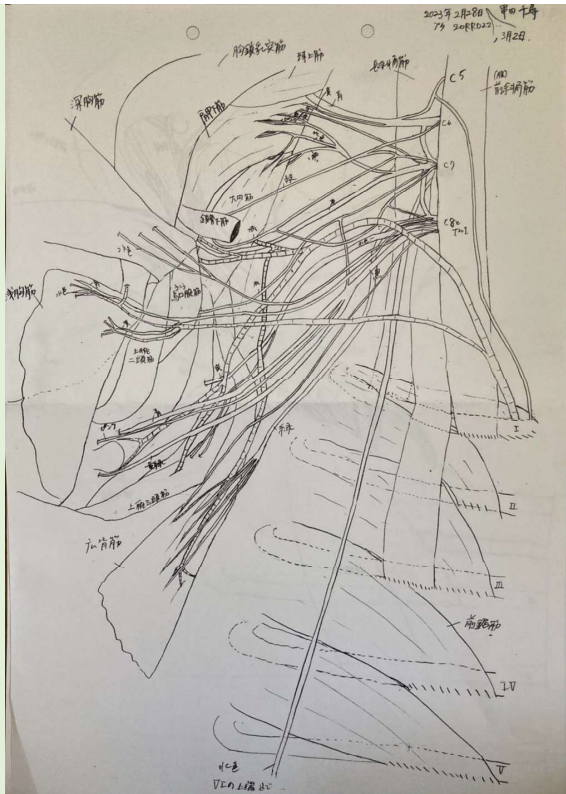


fig.4 ブタ胎仔の腕神経叢の模式図(腹側からの観察)

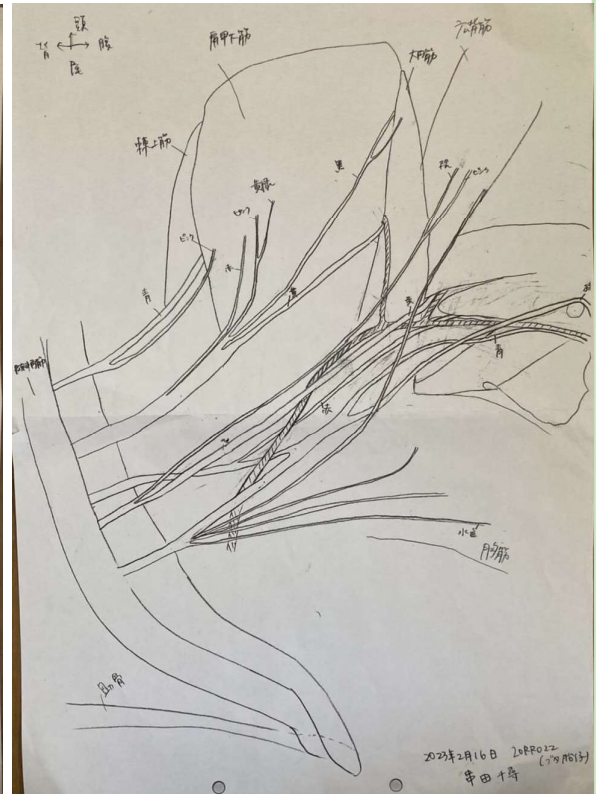


fig.5 ブタ胎仔の腕神経叢の模式図(背側からの観察)

【参考文献】

- ・坂井 建雄 監訳. プロメテウス解剖学コアアトラス, 第3版医, 学書院, 2019年.
- ・布施裕子, 時田幸之輔, 小島龍平. ブタ胎仔における胸鎖乳突筋と支配神経の観察. 形態・機能 第17巻第2号 p79-85. 2019.

概要

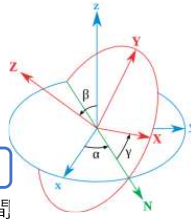
リー代数は回転などの無限小変換や対称性を記述する代数的対象であり、それらを行列として表すことを表現という。理論物理の文脈では、リー代数を部分代数に制限したとき、与えられた表現行列で変換するベクトルがその部分代数のどのような既約表現で変換するかに興味がある。原理的にはウェイトという概念を用いて調べ尽くすことができるが、人の手で調べるのは非現実的であり、また状況によっては文献に記載されていない方法で部分代数の表現を調べる必要がある。そこで、リー代数の任意の既約表現のウェイト系をグラフに描くプログラムを作成した。これにより、好みの部分代数を選んだときにどのような表現が現れるかを可視化することができる。

1. リー代数とは

リー代数

- 回転など無限小変換を表すもの(=行列)の集合
- 加法+定数倍+交換関係の演算

$$A + B, \quad kA, \quad [A, B] = AB - BA$$



表現(既約表現)

既約:これ以上分解不可

- リー代数の元を行列に表す/作用先のベクトル空間

- 例: SU(2)(=SO(3))

- 2次元表現 **電子スピン(↑↓)** 図1: オイラー角^[1]
- ...パウリ行列/複素2次元ベクトル → コンピュータビジョンや制御への応用も

$$A = \sum_{i=1}^3 a^i \frac{T^i}{2}, \quad \sigma^1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \sigma^2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \sigma^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

- 3次元表現 **3次元空間回転** **基底の行列=生成子**
- ...純虚反対称行列/実3次元ベクトル

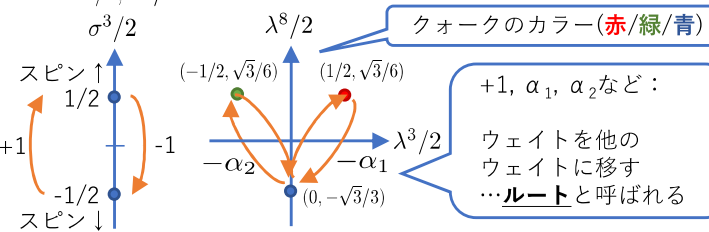
$$A = \sum_{i=1}^3 a^i \frac{T^i}{2}, \quad T^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}, T^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 \end{pmatrix}, T^3 = \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

...同じ交換関係を満たす: $[t^i, t^j] = \sum_{k=1}^3 i \epsilon^{ijk} t^k, \quad t^i = \frac{\sigma^i}{2} \text{ or } \frac{T^i}{2}$

ウェイト・ルート

- 表現ベクトル空間をある行列たちの固有値の組(ウェイト)でラベル

- 例: SU(2)の2次元表現 $\lambda^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}, \lambda^8 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}$
- 例: SU(3)の3次元表現 $\lambda^3/2, \lambda^8/2$ の固有値



2. ウェイトを図式化する

- ウェイト⇒箱、ウェイトに関連する量⇒箱の中の数字(扱いやすさ)
- ルートによるウェイト間の移動⇒線
- 例: SU(3)の3次元表現

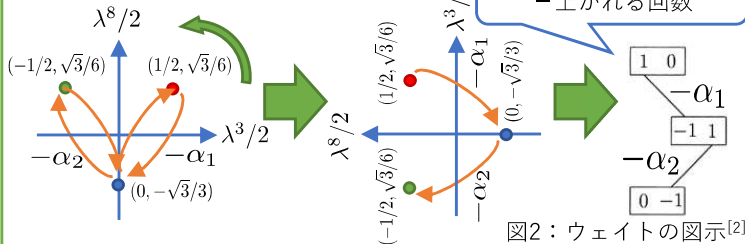


図2: ウェイトの図示^[2]

3. 表現を作るアルゴリズム

最高ウェイトの方法^[2]

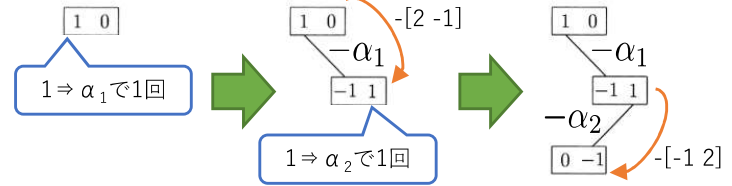
- リー代数⇔ディンキン図形⇔カルタン行列
- 例:

$$SU(3) \leftrightarrow \alpha_1 - \alpha_2 \leftrightarrow \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$$

- 表現⇔一番上の箱(=最高ウェイト)の数字の組(=ディンキンラベル)

アルゴリズム

1. 最高ウェイトの箱を用意
2. 箱の数字から下りられるルート α_i を判定、箱の下段に線と箱を描く
※新しい箱の数字の組 = 古い箱の数字の組 - カルタン行列の i 行目
3. 同じ段の全ての箱に対して同じ操作
4. 次の段に移って2. と3. を繰り返す
5. 繰り返しができなくなったら終了



4. 実装と結果

- 使用言語: Python、使用ライブラリ: NumPy, Graphviz
- リー代数のカルタン行列と表現のディンキンラベルを入力とし、ウェイトの箱の図をグラフとして出力する関数を実装

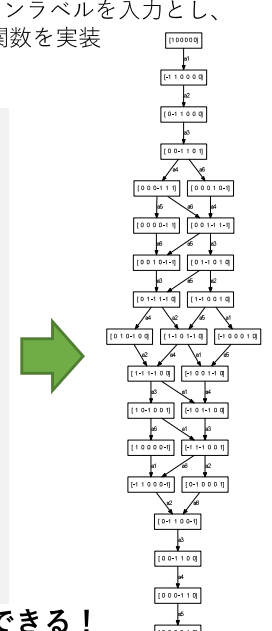
- 例: E6の27次元表現

```
# E6 27
# Cartan matrix
C = np.array([[2,-1,0,0,0,0],
              [-1,2,-1,0,0,0],
              [0,-1,2,-1,0,-1],
              [0,0,-1,2,-1,0],
              [0,0,0,-1,2,0],
              [0,0,-1,0,0,2]])

# Dynkin label
h = np.array([1,0,0,0,0,0])

# max repetition
max = 50

w = generate_weights(C,h,max)
w
```



☆ 好きなリー代数の表現を可視化できる!

まとめ・展望

やったこと

- リー代数の表現の可視化プログラムを作成
- 人間が手で描けない表現も視覚的にわかる
- 部分代数の表現への分解など目的に応じた表現の扱いが容易

今後やること

- 既存パッケージ(LieART^[3], GroupMath^[4]など)に対抗できる機能の開発
- 部分代数の表現への分解と射影行列の出力
- リー代数の部分代数の列挙 ほか
- オープンソースソフトウェアとして公開

参考文献

- [1] Euler angles - Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Euler_angles
- [2] ジョージアイ, 「物理学におけるリー代数」, 吉岡書店(2010)
- [3] LieART, arXiv:1912.10969[hep-th]
- [4] GroupMath, arXiv:2011.01764[hep-th]

