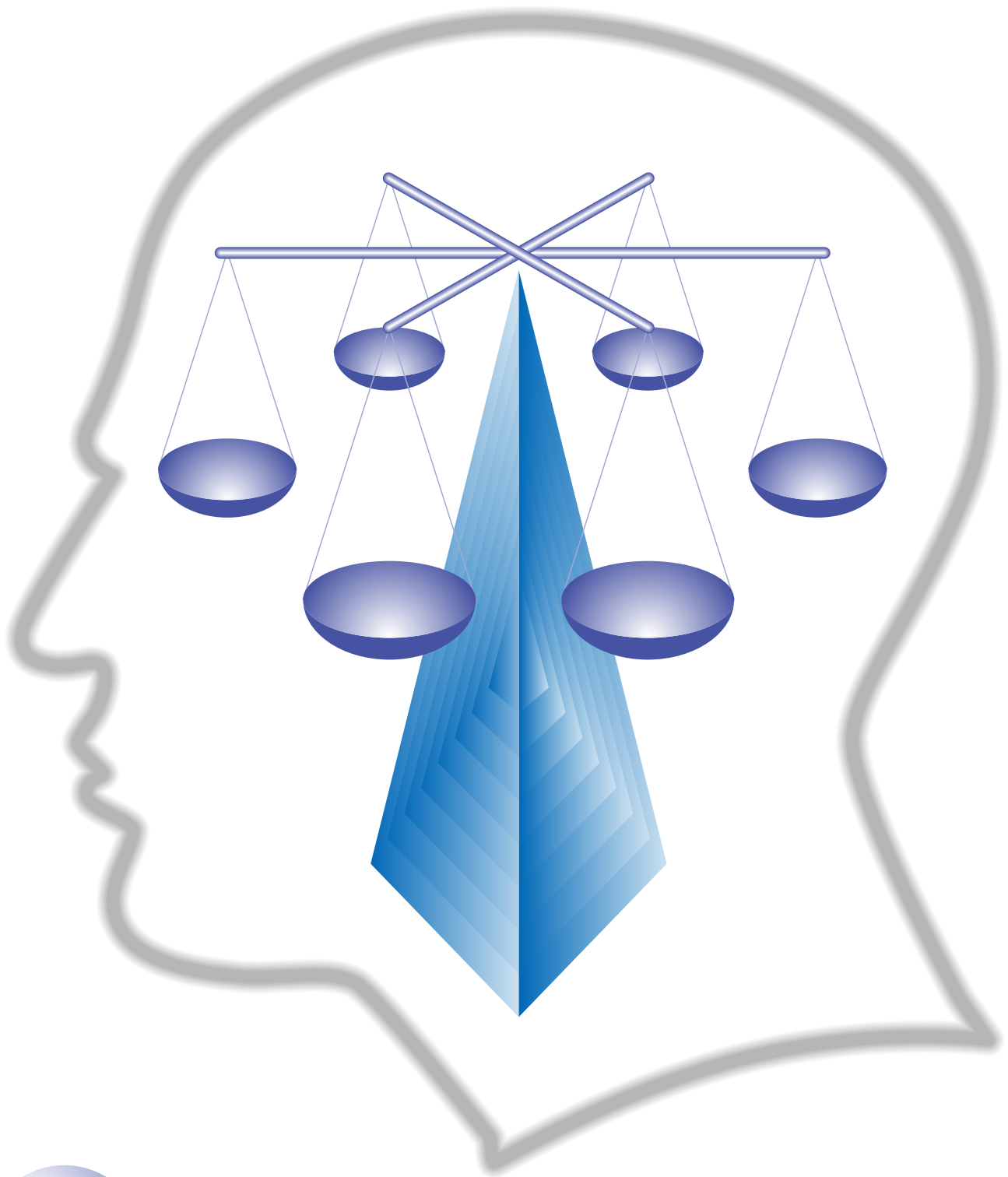


感性福祉研究所年報

東北福祉大学感性福祉研究所



第22号

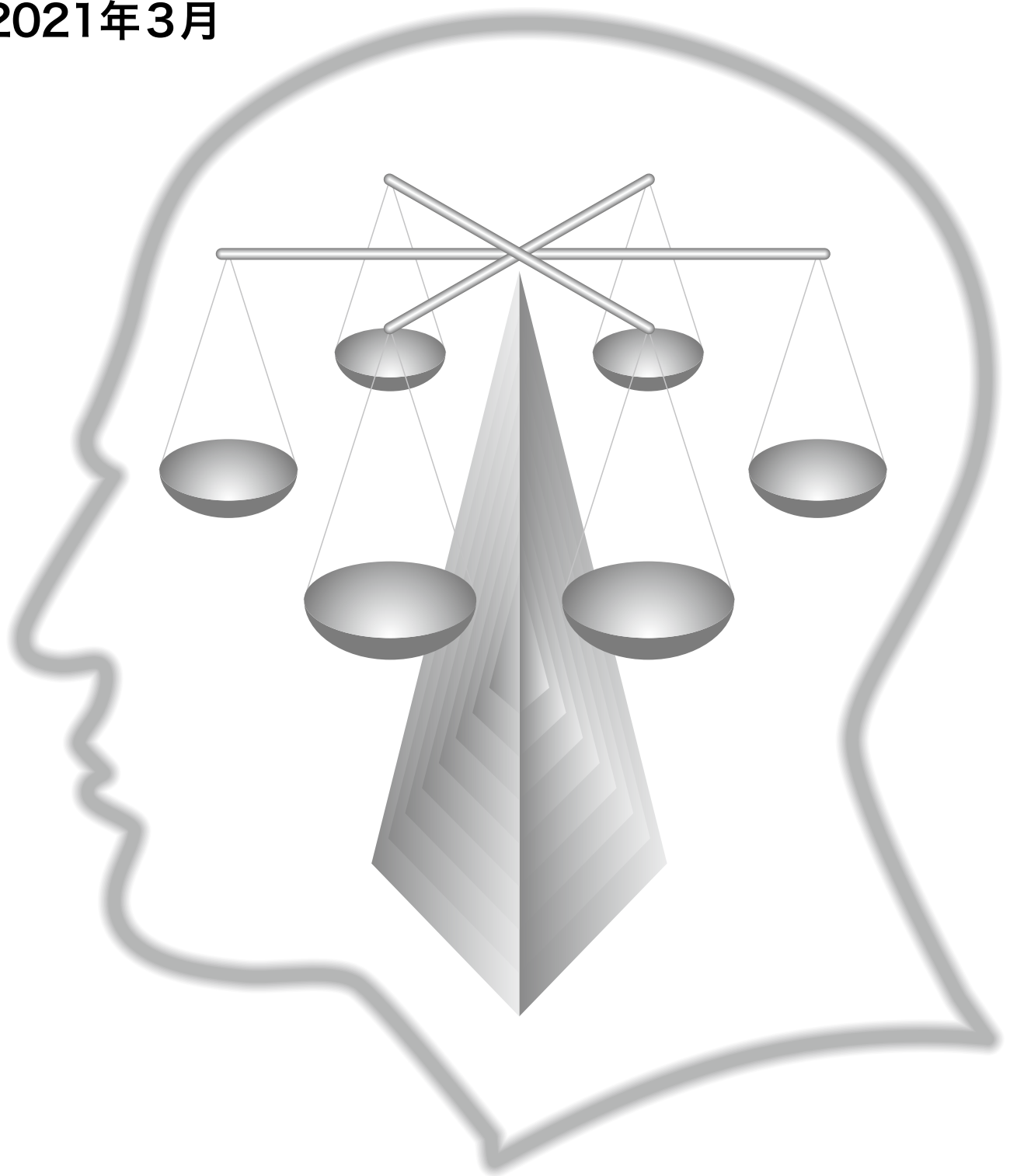
2021年3月

感性福祉研究所年報

東北福祉大学感性福祉研究所

第22号

2021年3月



感性福祉研究所年報第22号

目次● contents

第 I 部 原著論文・研究ノート

Evaluation of the effects of cerebrospinal fluid on functional MRI signals Yul-Wan Sung and Seiji Ogawa	3
Task-related attention effects in the brain regions on autism spectrum disorder Yul-Wan Sung, Uk-Su Choi, Seiji Ogawa	9
敵対生成ネットワークによる文書分類 岩田一樹	19
フォトグラメトリ技術を用いた建築物の 3 DCG モデルの試作 － 3 D バリアフリーマップの実現に向けて－ 柳田恵梨奈、漆山純一	33
ディープラーニングを用いた顔表情に対する脳反応と性格特性指標との相関に関する研究 庭野賀津子、田邊素子、庭野道夫	45
表情顔認知における脳血流反応と性格特性の関連 田邊素子、庭野賀津子、庭野道夫	59
宮城県で栽培したチュニジア産オリーブのポリフェノール含量 山口政人、庭野道夫、礪田博子	69
活性酸素によるナノバブルの殺菌効果 山口政人、渡部芳彦、馬 騰、但木大介、 金高弘恭、平野愛弓、庭野道夫	77
SfM を活用した樹高測定の可能性 岩田一樹	87
ICT を活用した気象情報の取得－網地島における気象情報－ 岩田一樹、山口政人、庭野道夫	93

第Ⅱ部 3 センター・プロジェクト活動報告

令和2年度 3 センター・プロジェクト活動報告	105
-------------------------------	-----

第 I 部

原著論文
研究ノート

原 著 論 文

Evaluation of the effects of cerebrospinal fluid on functional MRI signals

Yul-Wan Sung and Seiji Ogawa

Kansei Fukushi Research Institute, Tohoku Fukushi University

Abstract

Multi-echo echo-planar imaging (Multi-echo EPI) is a magnetic resonance imaging (MRI) sequence allowing MRI images recording at different echo times after excitation. Its application to functional MRI (fMRI) studies has enable the acquisition of new neuronal information compared with the classical single-echo EPI. For instance, in a previous study we could monitor microscopic neuronal changes originating from population differences. However, the neuronal information acquired by multi-echo EPI is subjected to artifacts caused by partial volume effect in the boundary regions between the neuronal tissues and other compartments such as the cerebrospinal fluid (CSF). This report shows that CSF affected many fMRI image voxels in the brain.

Keywords : multi-echo echo-planar imaging, functional MRI; cerebrospinal fluid; fluctuation

Introduction

Conventional functional magnetic resonance imaging (fMRI) measures the magnetic susceptibility at a single time point. The response is generated using single gradient-echo (GE) echo-planar imaging (EPI), and is proportional to the susceptibility at an echo time (TE). In contrast, multi-echo EPI uses multiple acquisition points to obtain signals from different echoes [1-6], thus providing additional information compared to single-echo EPI.

In a previous study [5] we used three-echo EPI to estimate the linearity of transverse relaxivity (R_2^*) for functional activation and were able to image microscopic neuronal changes. However, the neuronal information might be compromised by physical or physiological noises due to the numerical computation typically applied on the signal in three-echo images. Therefore, it is essential to evaluate the effect of noises on fMRI imaging.

Cerebrospinal fluid (CSF) is the body fluid found in the brain and spinal cord. In the brain, most of the CSF is present in the ventricles but it also fills the brain sulci. The CSF circulation within the ventricular system is driven by the heartbeat. Therefore, fluctuations of the fMRI signal due to CSF changes might vary between different echo times. In addition, head motion might also affect the CSF-related fluctuation by generating partial volumes of mixed brain tissue and CSF in image voxels. Some of our data acquired by single-echo EPI have shown signal fluctuations in the CSF compartment. In this study we examine the effect of the CSF as a source of physiological noise on fMRI signals.

Materials and Methods

This study was approved by the Institutional Review Board of the Tohoku Fukushi University (RS190607).

Measurements and Data analysis

All MRI experiments were performed using a Skyra-fit system (Siemens, Germany) with a standard, 16-channel head matrix coil operating at 3 Tesla. Multi echo EPI sequence from Center for Magnetic Resonance Research of Minnesota University was used to acquire images at three echo times (TE1, TE2, TE3) of 11.60, 28.23 and 44.86 msec. For functional imaging, the multi echo GE-EPI sequence was used with a 1000 milli seconds repetition time, 220 mm field of view, 64×64 mm matrix size, and 5 mm slice thickness with zero acceleration. Fourteen slices covering visual to parietal region were acquired from a healthy volunteer. The 390 volume images were acquired during subject's eyes closed. After the typical preprocessing including motion correction, and temporal filtering by FSL (<https://fsl.fmrib.ox.ac.uk/fsl/fslwiki>), MATLAB (Mathworks Co, Natick, USA) software was used for further data processing.

Results and Discussion

An image voxel containing CSF was found using anatomical information regarding the ventricle location and image contrast (Fig. 1). The amplitude of the signal fluctuation was larger than the typical signal variation induced by neuronal activation. Moreover, the signal changes were non-periodic with 20 to 50 seconds intervals. The baseline signal amplitude decreased with the increase of echo time as expected. Typically, if the change of the fMRI signal is due to a different magnetic susceptibility it is proportional to the echo time. However, here we observed the same variations of the signals for all echo times (Fig. 2), suggesting that the signal change is induced by the CSF.

To examine additional image voxels affected by the CSF signal, we performed a correlation analysis of the CSF voxel with all the other image voxels. The generated maps showed high correlation across the brain, in areas occupied by CSF but also in regions containing brain tissue (Fig. 3). This indicates that brain voxels contained CSF in addition to tissue suggesting that CSF fluctuation might affect functional signal changes in the brain tissue voxels.

To examine the effect of CSF-induced signal on the neuronal functional signal, we compared the fMRI signal of a voxel from the tissue area with a high correlation value (larger than 0.5) at three-echo times (Fig. 4). The signal changes partly aligned with the CSF signal on the temporal axis, indicating a probable contamination of the neuronal function signal with CSF signal. Therefore, fMRI studies by single-echo fMRI might lead to an incorrect evaluation of the neuronal response amplitude or connectivity strength if the contaminant CSF signal is measured as a neuronal-induced signal change. Similarly, the fluctuation might affect the outcome of multi-echo fMRI studies particularly when arithmetic calculations such as the percent signal changes are applied to derive neuronal information [5].

To eliminate the fluctuation unrelated to the brain neuronal activity a previous study used three-echo fMRI to separate non-functional signals represented by the proton density (S_0) from functional signals represented by transverse relaxivity (R_2^*) [4]. However, the separation might not be perfect for some processing factors such as the signal amplitude or the statistical power. As described in the

method section, the CSF signal was still found in our data after a series of the preprocessing steps. Therefore, it is needed to extract signals from local compartments of CSF, identified using anatomical information and empirical knowledge, and to regress out the noise signal from the fMRI signal. To devise a more systematic method to extract those signals will be our future study.

In conclusion, not only the global CSF signal identified in most of previous studies but also non-functional changes in local compartments of CSF may be a physiological noise source and contaminate the functional signal of the brain neuronal tissue. It is therefore necessary to remove the CSF signal at the preprocessing stage to generate more accurate results in fMRI studies.

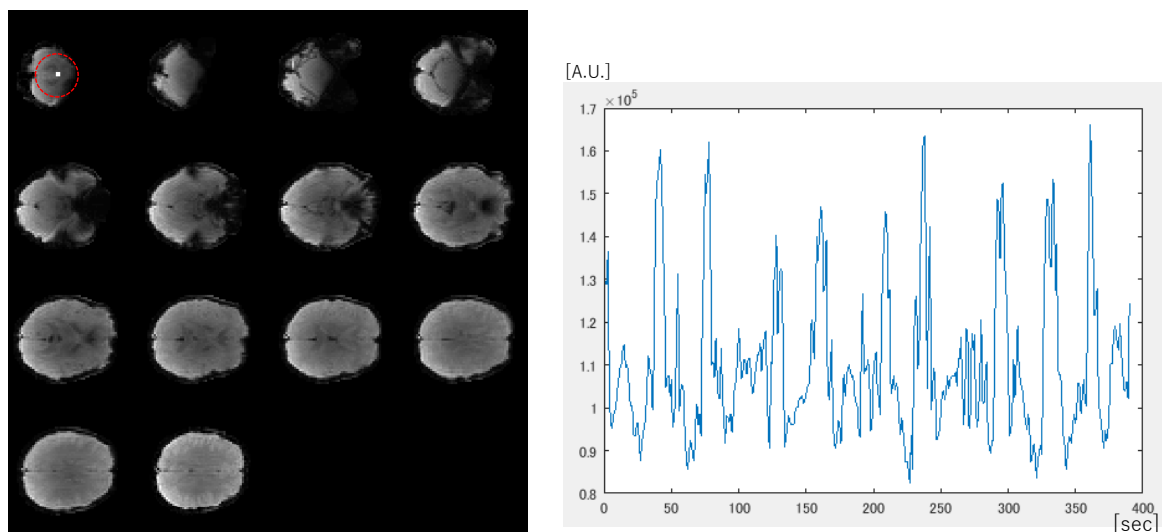


Figure 1. MRI images and a signal time course from a CSF voxel. MRI images acquires at echo time TE 2 (left) and a time course from a CSF voxel in the red-dotted circle (right).

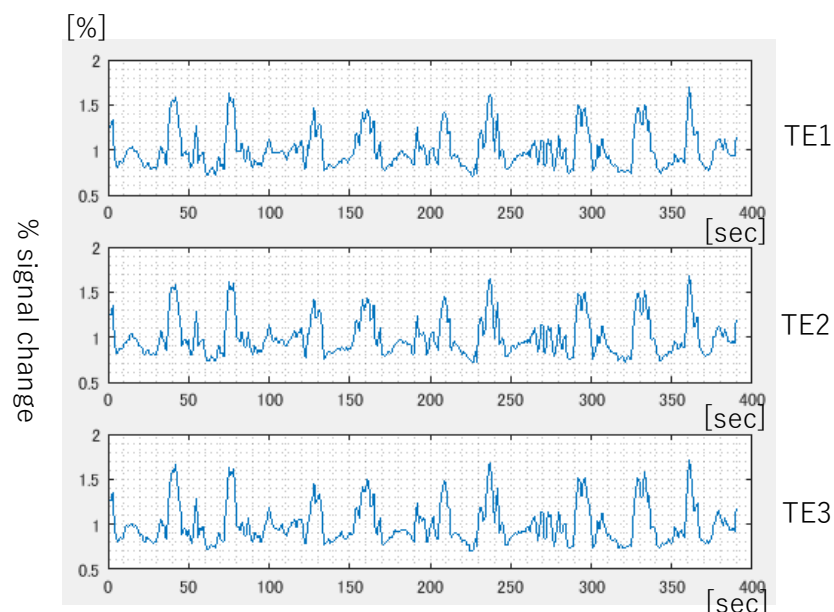


Figure 2. % signal changes of the time courses of TE1, TE 2 and TE 3 at the CSF voxel.

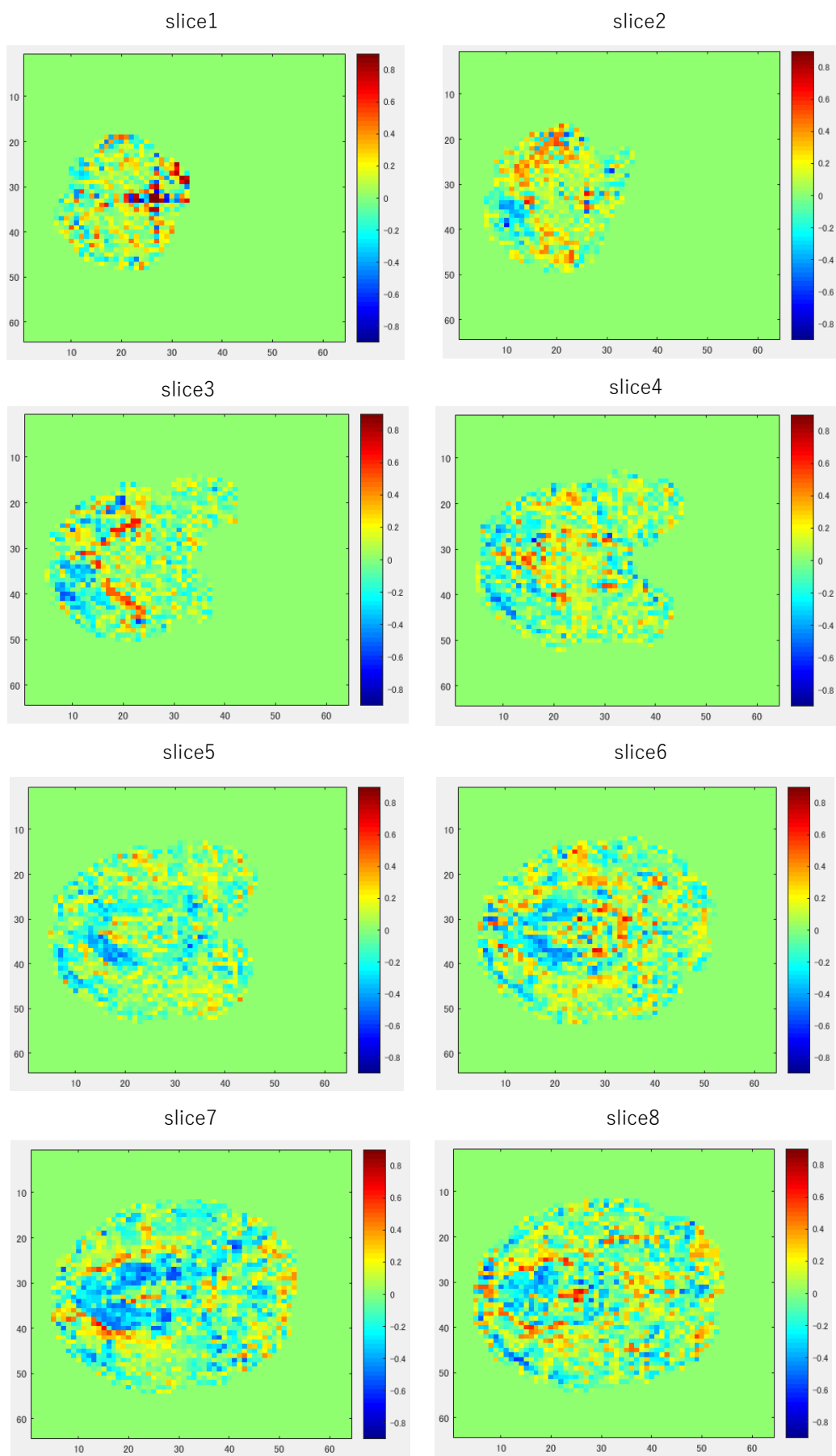


Figure 3 a. Correlation maps, slice 1 to 8. Color bars stand for correlation value, 0.8 to -0.8.

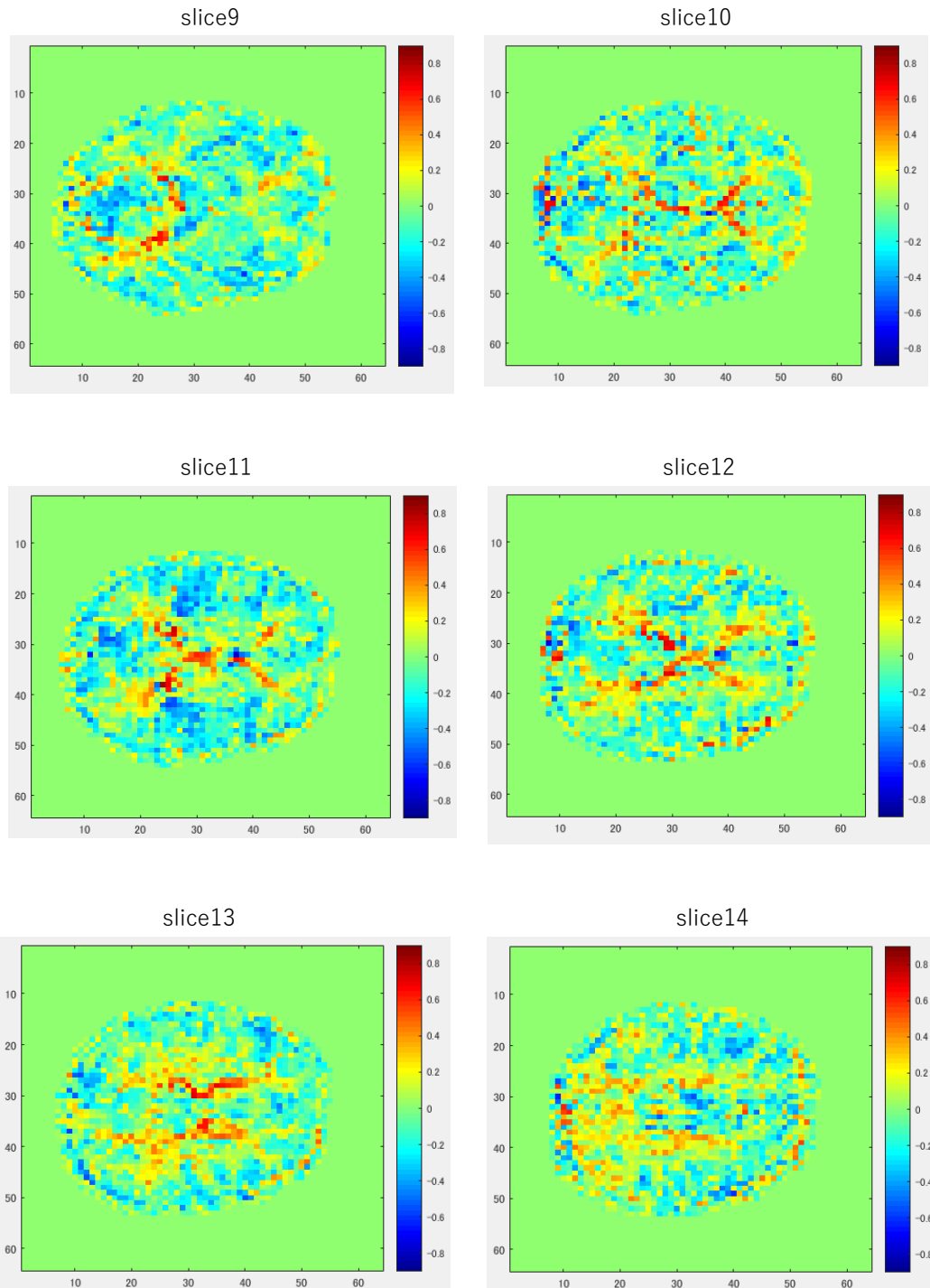


Figure 3 (b) Correlation maps, slice 9 to 14. Color bars stand for correlation value 0.8 to -0.8

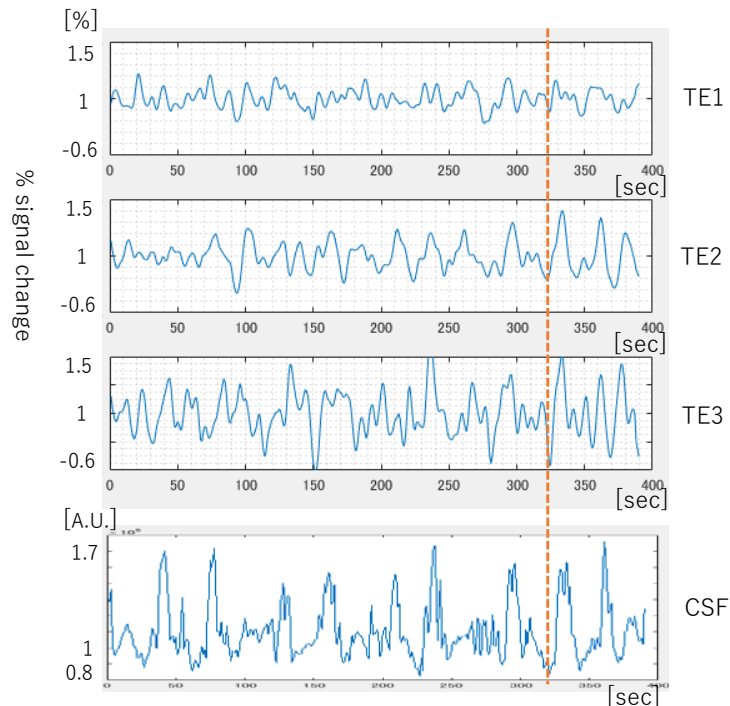


Figure 4. Time courses of % signal changes from a voxel that has the correlation value of 0.56 with the CSF signal. Onsets of several signal changes from the baseline of time courses of TE1, TE 2 and TE 3 are aligned with the burst changes of the CSF time course.

Acknowledgement

This study was carried out as a part of the cooperative research project at the Kansei Research Institute of Tohoku Fukushi University, receiving a subsidy of the research facility operation support MEXT, and JSPS KAKENHI Grant Number 19H01111 & 19H00532.

References

- 1) Beissner F, Baudrexel S, Volz S, Deichmann R. Dual-echo EPI for non-equilibrium fMRI – implications of different echo combinations and masking procedures. *Neuroimage* 2010; 52: 524-31.
- 2) Glover GH, Lemieux SK, Drangova M, Pauly JM. Decomposition of inflow and blood oxygen level-dependent (BOLD) effects with dual-echo spiral gradient-recalled echo (GRE) fMRI. *Magn Reson Med* 1996; 35: 299-308.
- 3) Speck O, Hennig J. Functional imaging by T_2^* -parameter mapping using multi-image EPI. *Magn Reson Med* 1998; 40: 243-248.
- 4) Kundu P, Inati SJ, Evans JW, Luh W-M, Bandettini PA. Differentiating BOLD signals in fMRI time series using multi-echo EPI. *Neuroimage* 2012; 60: 1759-70.
- 5) Kang D., Choi U-K., Sung Y-W. Microscopic functional specificity can be predicted from fMRI signals in ventral visual areas. *Magnetic Resonance Imaging* 32: pp. 1031-1036, 2014
- 6) Sung Y, Kawachi Y, Ogawa S. Evaluating the effects of head motion when processing multi-echo MRI data. *Report of Kansei Fukushi Research Institute* 21: pp. 65-69.

原 著 論 文

Task-related attention effects in the brain regions on autism spectrum disorder

Yul-Wan Sung¹, Uk-Su Choi², Seiji Ogawa¹

¹Kansei Fukushi Research Institute, Tohoku Fukushi University, Japan,

²Gwangju Alzheimer's Disease and Related Dementia Cohort Research Center, Chosun University, Korea

Abstracts

Brain function in autism spectrum disorder (ASD) has been studied by functional magnetic resonance imaging (fMRI). In particular, task-based fMRI studies have examined brain regions in ASD using language or face stimuli while resting-state fMRI studies have investigated functional networks. Most of the studies have focused on the core features of ASD namely to social interaction deficits. In this study, we devised a novel experimental paradigm to combine task-based and resting-state fMRI to examine functional features of ASD. We provide data suggesting that our novel paradigm can provide an interesting path to explore in the search of biomarkers for ASD.

Keywords : resting state fMRI, repetitive-task fMRI, Autism Spectrum Disorder (ASD), Functional connectivity.

Introduction

Autism spectrum disorder (ASD) is a neurodevelopmental condition ^{1,2)} characterized by several deficits in behavior such as difficulties with communication ³⁻⁵⁾ and social interactions ^{6,7)}, as well as restricted or repetitive patterns of behavior ⁸⁻¹⁰⁾. Although not considered as a major feature, attention problems such as intense focusing and concentration on a single item are also common in ASD ¹¹⁾. Brain function in ASD patients have been studied by functional MRI (fMRI). Specifically, task-based fMRI studies have examined brain regions involved in ASD by using language or face stimuli and resting-state fMRI studies have investigated functional networks ¹²⁻¹⁵⁾. Most of the studies have focused on the core ASD features related to deficits in social interactions.

Here, we propose a novel experimental paradigm combining task-based and resting-state fMRI to examine attention related features in ASD. We identified functional brain areas affected by ASD by meta-analysis (Neurosynth). The functional connectivity between these brain regions was evaluated while the participants performed a repetitive task (finger tapping throughout the fMRI acquisition period). This experimental paradigm does not provide fMRI response for events of the task because it has no rest period but provides the similar fMRI response time courses as seen in the resting-state fMRI.

As a proof-of-principle study, we performed fMRI on healthy participants and attempted to find functional connectivity differences between the typical resting-state fMRI and fMRI in the repetitive task condition (repetitive task-based fMRI).

Materials and Methods

This study was approved by the Institutional Review Board of Tohoku Fukushi University (RS190607). Ten healthy volunteers participated to this study. MRI measurements were conducted by a 3-Tesla MRI scanner (Skyra-fit; Siemens) with a 20 channel matrix head coil. From the ten subjects' structural images (T1) and functional images were measured. Parameters for structural images were repetition time 1900 ms, matrix size 256×256 , in-plane resolution = 1×1 mm², slice thickness = 1 mm, and number of slices = 192. The imaging orientation was sagittal. For functional fMRI measurements, the following parameters were used: repetition time = 1000 ms, echo time = 24 ms, matrix size = 64×64 , in-plane resolution = 3.4×3.4 mm², slice thickness = 3.4 mm, and number of volumes = 480. Repetitive-task fMRI and resting-state fMRI data were acquired from. In the resting-state fMRI session, subjects were asked to lie on the bed and not to wander their mind with their eyes open and to gently focus their eyes on the center of the visual field. The resting-state fMRI session was followed by repetitive-task fMRI session. In the task-fMRI session, subjects performed finger tapping by both hands continually throughout the 8 min scan with their eyes open. The lights in the room were turned off during all MRI scans.

The brain areas related to ASD were identified from Neurosynth. This is a platform for the large-scale, automated synthesis of fMRI data¹⁷⁾. The keyword of ASD was used for the identification of brain areas.

Results and Discussion

Seventeen brain areas previously related to ASD were identified using Neurosynth¹⁷⁾. Table 1 shows the coordinates and anatomical labels of these functional brain regions and SupplementFig. 1 shows the maps of the areas. To examine the connectivity between those brain regions we performed a correlation analysis (Pearson's correlation between two brain areas). The correlation maps were almost the same for the resting-state fMRI and the repetitive task-based fMRI (Fig. 2). The difference map and p-value map were obtained by subtracting the two brain maps from each other (Fig. 3). Only the left medial frontal cortex and the left occipital cortex had significant correlation value (Table 1; SupplementFig. 1).

These two functional areas affected by ASD are not implicated in the motor function involved in the repetitive task performed by the subject during the fMRI scan. The identified area in the left occipital cortex is known to process visual information related to faces, objects, and attention and the one in the left medial frontal cortex processes information related to behavioral control, attention, rewards, emotion, decision making etc. Therefore, the correlation changes observed in these brain regions might be due to a secondary function involved in the repetitive task, such as staying focused to perform the same task for several minutes¹⁸⁻²⁰⁾. One of the conceivable functions is the attention because the behavior of staying focused during the task can be interpreted as the task-related attention and both brain regions are involved in the attention processing²¹⁻²⁴⁾. This task-related attentional modulation of the functional connectivity may reflect plausible difference between ASD and typically developing controls (TDC)²¹⁾. A previous study supports it by showing changes in cortical thickness of the left occipital cortex in relation with attention in which the change was a result of compensation of attentional network²⁴⁾.

Table 1. The brain areas related to ASD identified from Neursynth.

	peak_x	peak_y	peak_z	(MNI coordinates)
1	22	-4	-44	R. Fusiform Gyrus
2	-4	-6	-34	L. Pituitary
3	42	-56	20	R. Angular Gyrus
4	-2	-60	36	L. Precuneous Cortex
5	44	2	-24	R. Temporal Pole
6	-6	38	-22	L. Medial Frontal Cortex
7	-66	-16	-14	L. Middle Temporal Gyrus
8	-30	-62	12	L. Precuneous Cortex
9	46	-2	-24	R. Superior Temporal Gyrus
10	-62	-20	-14	L. Middle Temporal Gyrus
11	38	6	-26	R. Temporal Pole
12	-32	-64	6	L. Occipital Cortex
13	50	-46	-42	R. Cerebellum
14	-2	58	20	L. Frontal Pole
15	-2	-56	38	L. Precuneous Cortex
16	-42	6	-30	L. Temporal Pole
17	48	-32	4	R. Superior Temporal Gyrus

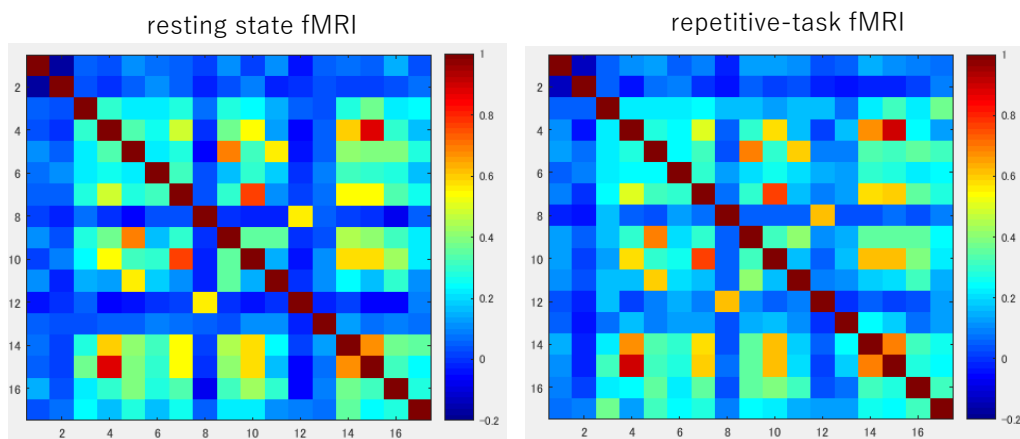


Figure 1. Correlation (Pearson's) maps for resting state fMRI (left) and repetitive-task fMRI (right)

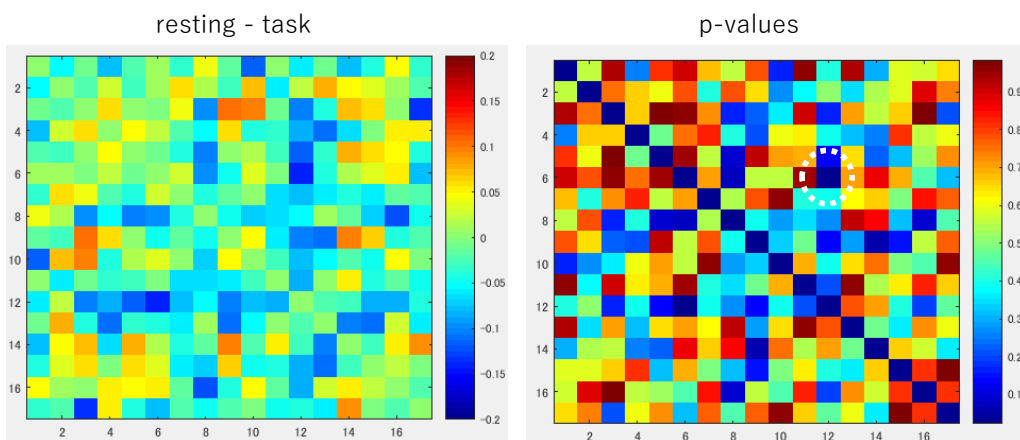


Figure 2. Difference map between resting state fMRI and repetitive-task fMRI (left) and the p-value (paired-t test) map corresponding to the difference map (right). The white dotted circle indicates the only connectivity difference satisfying the significant level of $p < 0.05$.

The connectivity change induced by the repetitive task in ASD related brain areas might be a candidate biomarker for ASD. However, further studies are needed. In particular, a comparison of the autism spectrum quotient score and the connectivity changes in ASD patients is necessary. Nevertheless, our paradigm has the advantage to use fMRI response induced by task performing and might be more sensitive than other methods based on resting-state fMRI because of focal activation resulting in a less partial volume effect. Moreover, the task is simple and easy to perform and does not require difficult or high cognitive skills.

In conclusion, this study shows that our novel experimental paradigm provides an interesting avenue to explore in the search for biomarkers for ASD.

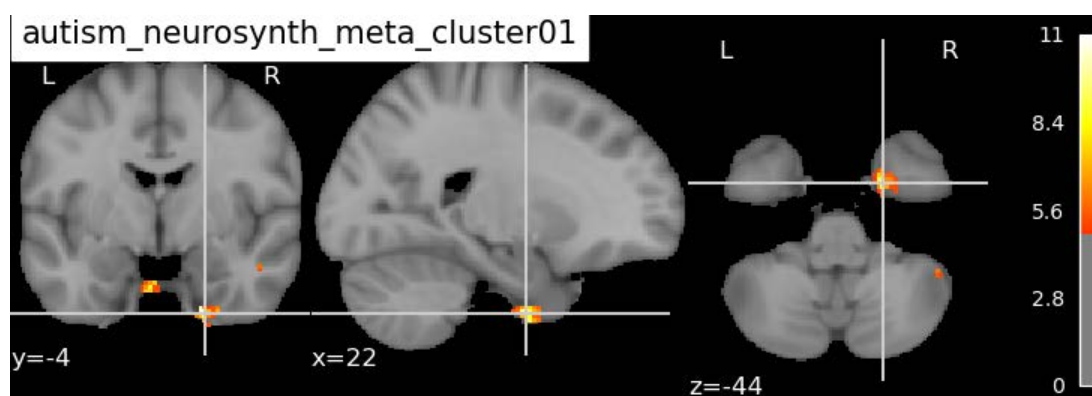
Acknowledgement

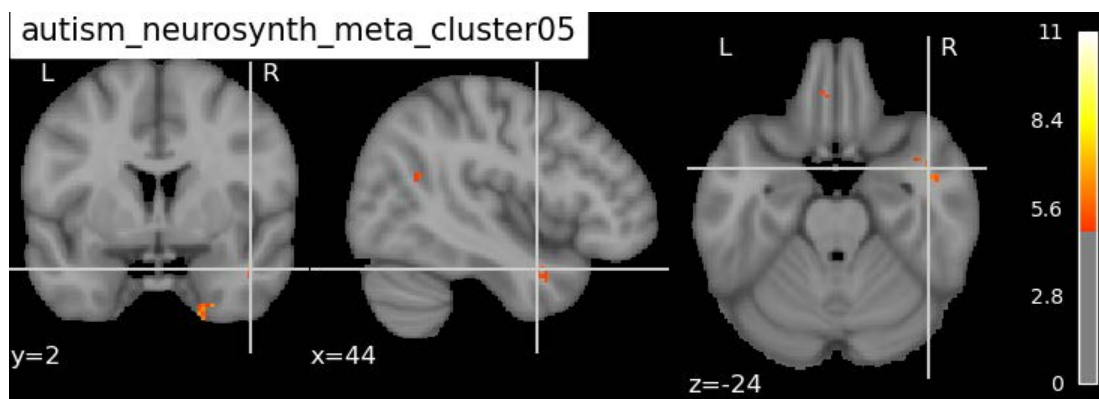
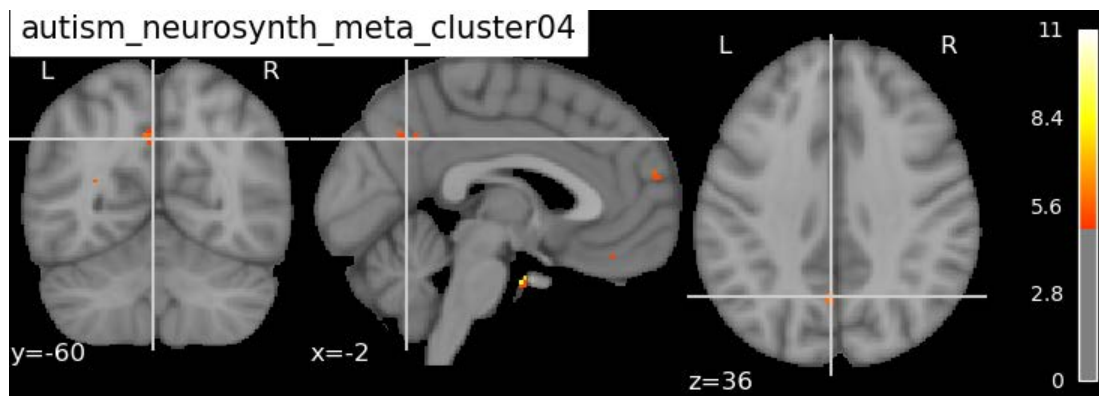
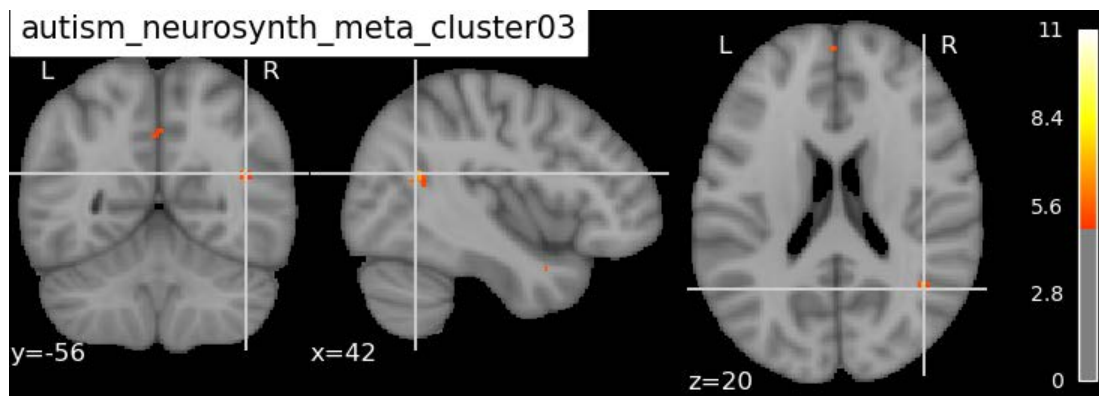
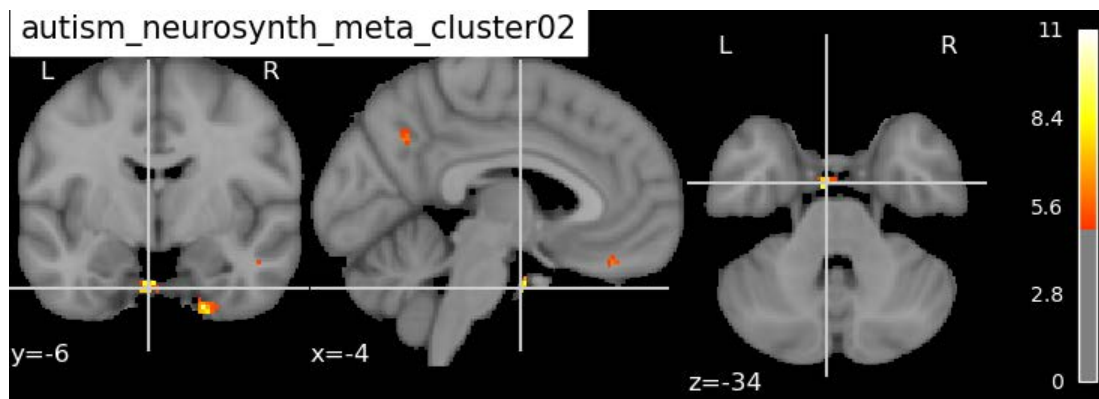
This study was carried out as a part of the cooperative research project at the Kansei Research Institute of Tohoku Fukushi University, receiving a subsidy of the research facility operation support MEXT, and JSPS KAKENHI Grant Number 19H01111 & 19H00532.

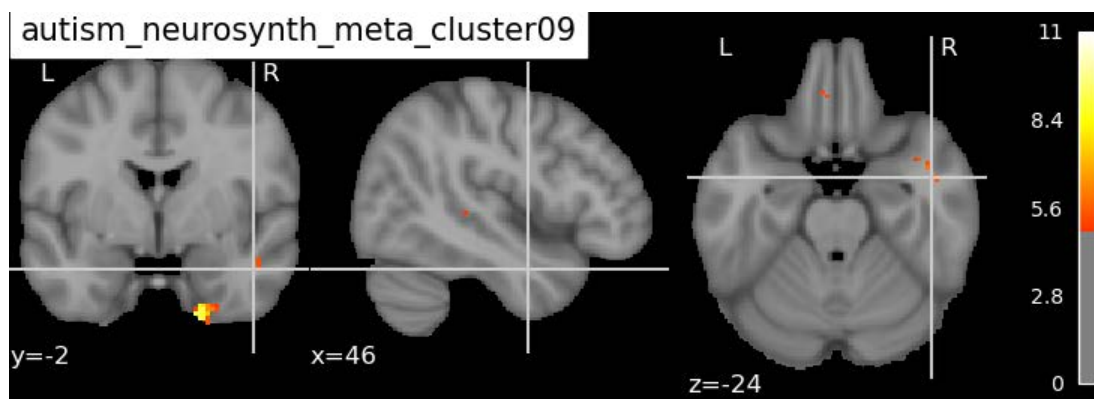
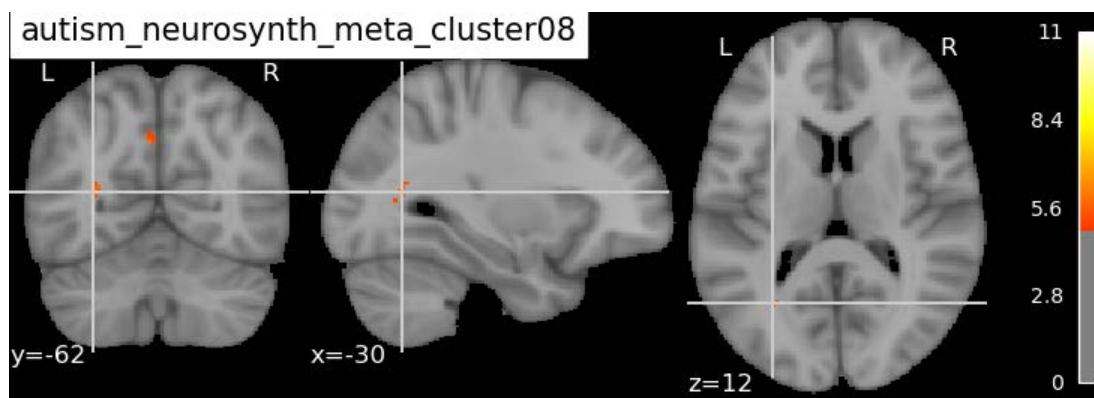
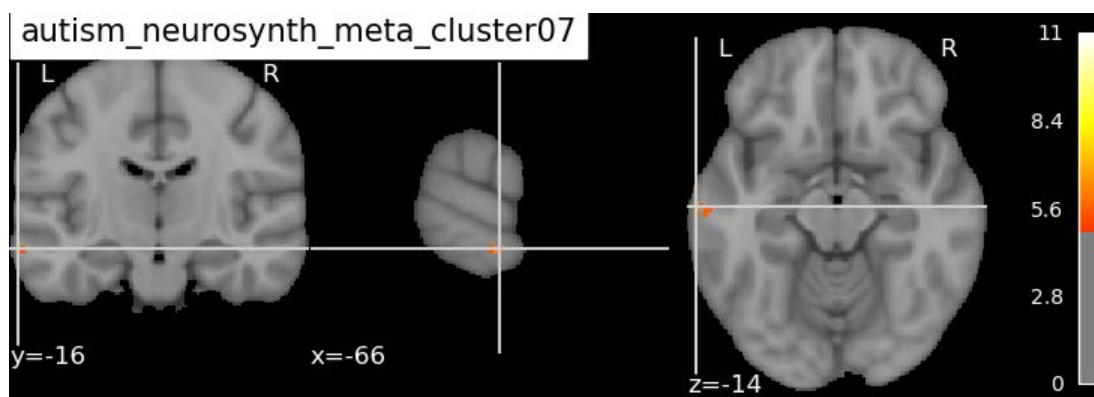
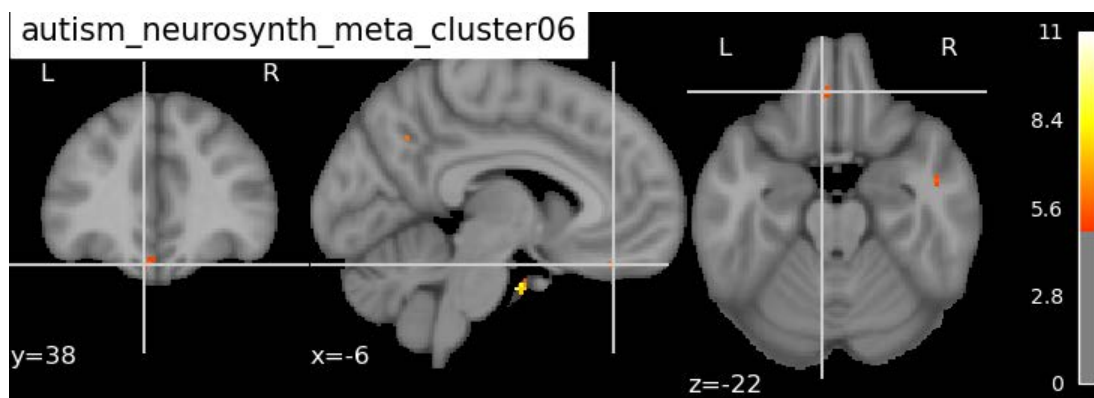
References

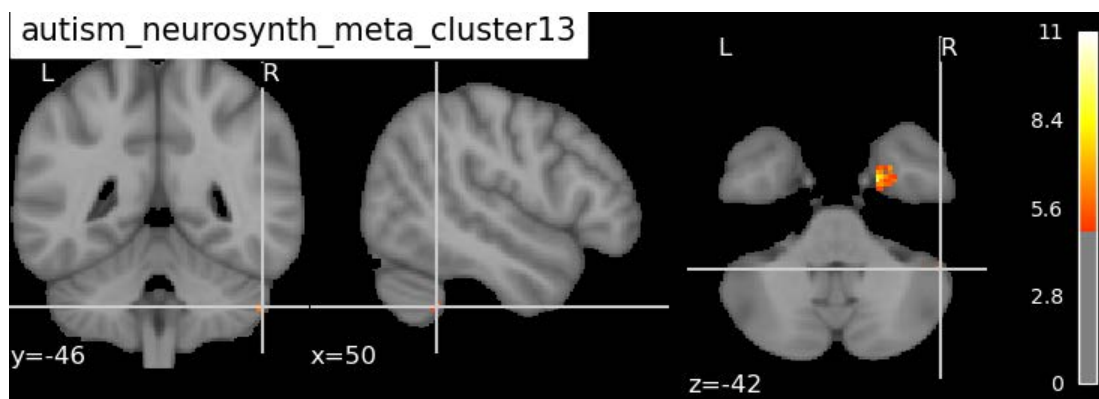
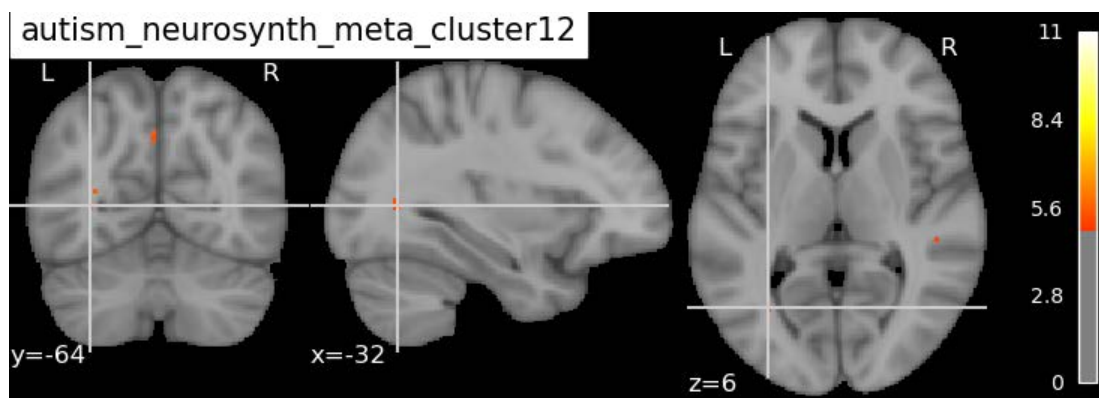
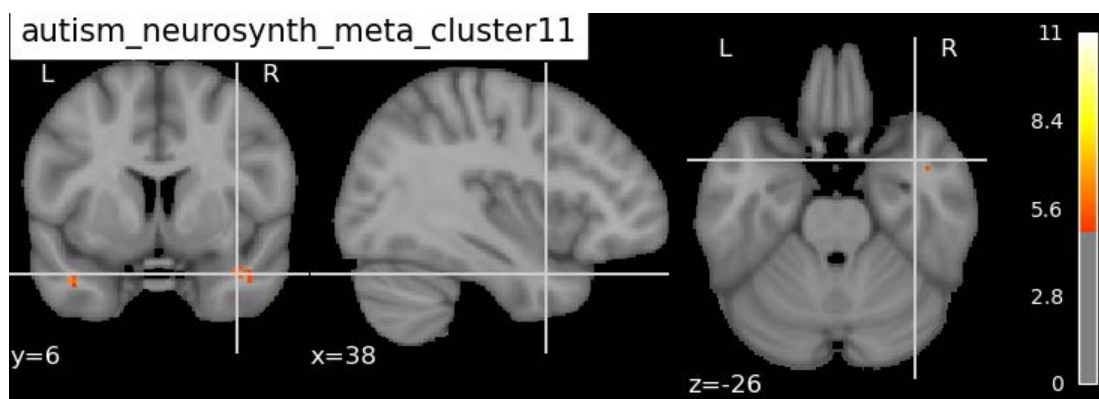
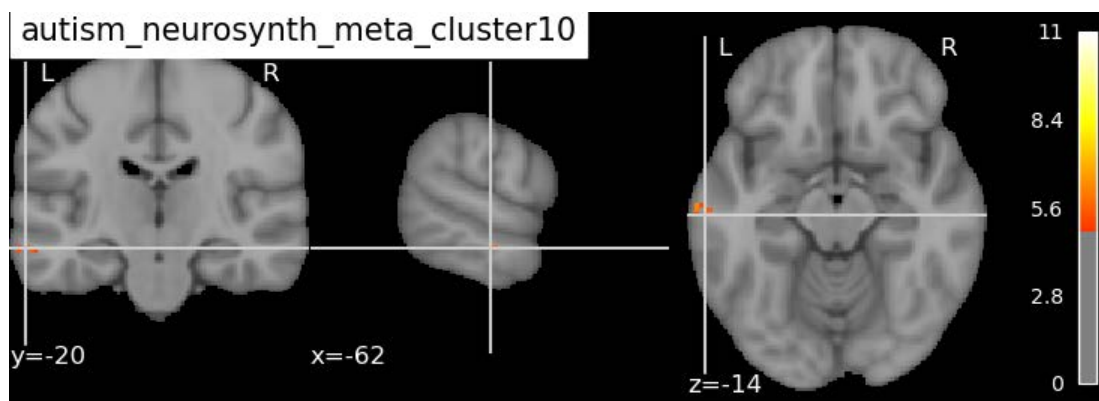
- 1) Park HR, Lee JM, Moon HE, Lee DS, Kim BN, Kim J, Kim DG, Paek SH. A short review on the current understanding of autism spectrum disorders. *Exp Neurobiol.* 2016; 25: 1-13.
- 2) Armstrong NC, Anderson RC, McDermott KW. Reelin: Diverse roles in central nervous system development, health and disease. *Int J Biochem Cell Biol.* 2019; 112: 72-75.
- 3) Mitchell S, et al. Early language and communication development of infants later diagnosed with autism spectrum disorder. *J Dev Behav Pediatr.* 2006; 27: S69-78.
- 4) Gerow S, Hagan-Burke S, Rispoli M, Gregori E, Mason R, Ninci J. A systematic review of parent-implemented functional communication training for children with ASD. *Behav Modif.* 2018; 42: 335-363.
- 5) Salomone E, Settanni M, Ferrara F, Salandin A; CST Italy Team. The Interplay of communication skills, emotional and behavioural problems and parental psychological distress. *J Autism Dev Disord.* 2019; 49: 4365-4374.
- 6) Knott F, Dunlop AW, Mackay T. Living with ASD: how do children and their parents assess their difficulties with social interaction and understanding? *Autism.* 2006; 10: 609-17.
- 7) Jordan R. Social play and autistic spectrum disorders: a perspective on theory, implications and educational approaches. *Autism.* 2003; 7: 347-60.
- 8) Richler J, Bishop SL, Kleinke JR, Lord C. Restricted and repetitive behaviors in young children with autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord.* 2007; 37: 73-85.
- 9) Watt N, Wetherby AM, Barber A, Morgan L. Repetitive and stereotyped behaviors in children with autism spectrum disorders in the second year of life. *J Autism Dev Disord.* 2008; 38: 1518-33.
- 10) Richler J, Huerta M, Bishop SL, Lord C. Developmental trajectories of restricted and repetitive behaviors and interests in children with autism spectrum disorders. *Dev Psychopathol.* 2010; 22: 55-69.
- 11) Bennett E, Heaton P. Is talent in autism spectrum disorders associated with a specific cognitive and behavioural phenotype? *J Autism Dev Disord.* 2012; 42: 2739-53.

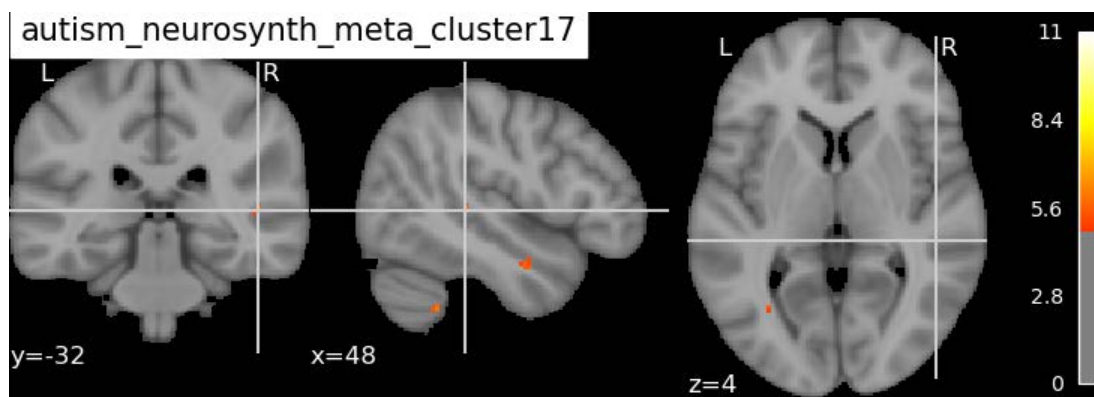
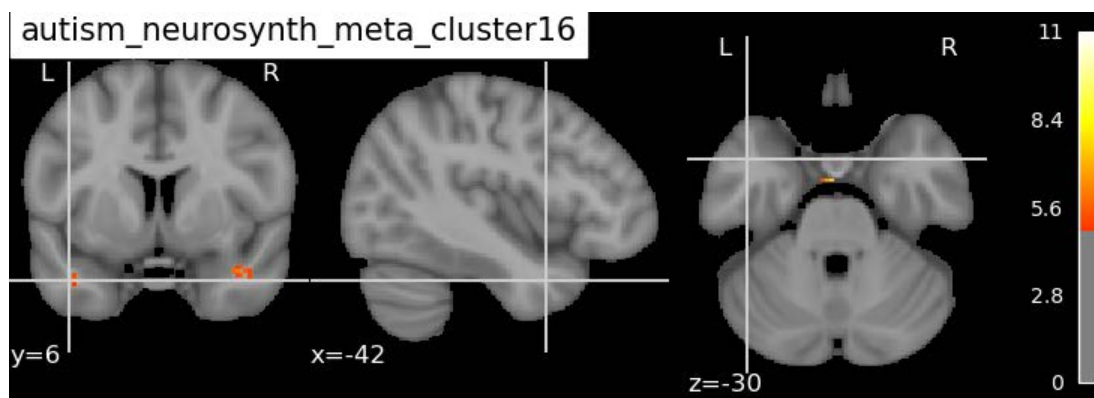
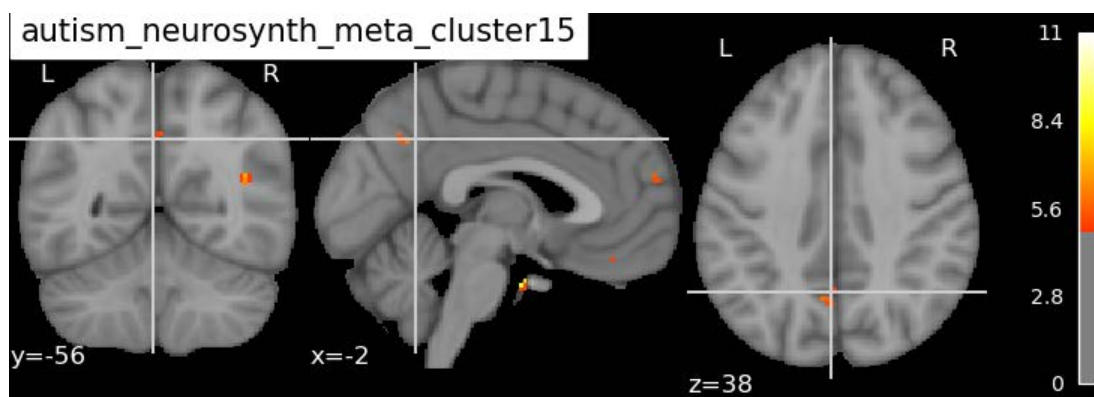
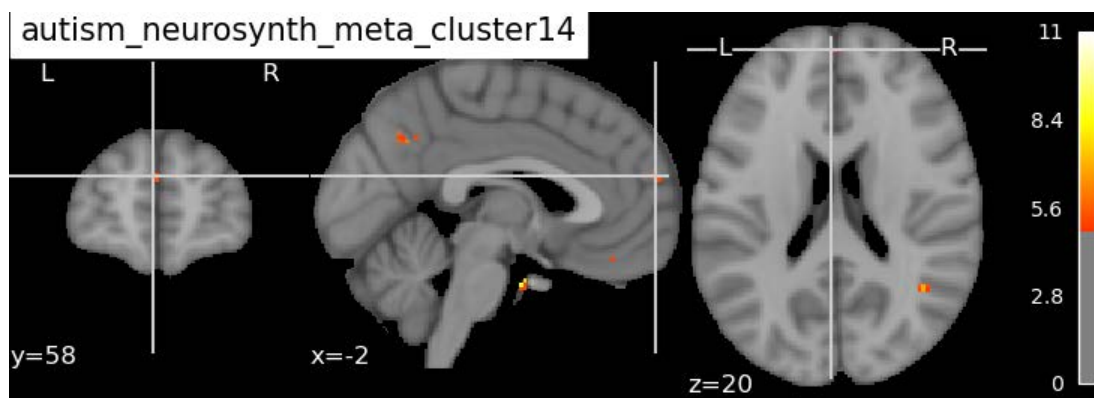
- 12) Knaus TA, Silver AM, Lindgren KA, Hadjikhani N, Tager-Flusberg H. fMRI activation during a language task in adolescents with ASD. *J Int Neuropsychol Soc.* 2008; 14: 967-79.
- 13) Bookheimer SY, Wang AT, Scott A, Sigman M, Dapretto M. Frontal contributions to face processing differences in autism: evidence from fMRI of inverted face processing. *J Int Neuropsychol Soc.* 2008; 14: 922-32.
- 14) Harris GJ, Chabris CF, Clark J, Urban T, Aharon I, Steele S, McGrath L, Condouris K, Tager-Flusberg H. Brain activation during semantic processing in autism spectrum disorders via functional magnetic resonance imaging. *Brain Cogn.* 2006; 61: 54-68.
- 15) Gao Y, Linke A, Jao Keehn RJ, Punyamurthula S, Jahedi A, Gates K, Fishman I, Müller RA.
- 16) The language network in autism: Atypical functional connectivity with default mode and visual regions. *Autism Res.* 2019; 12: 1344-1355.
- 17) Neurosynth.org; PRID:SCR_006798
- 18) Wolf RC, Philippi CL, Motzkin JC, Baskaya MK, Koenigs M. Ventromedial prefrontal cortex mediates visual attention during facial emotion recognition. *Brain.* 2014; 137: 1772-80.
- 19) van Honk J, Hermans EJ, d'Alfonso AA, Schutter DJ, van Doornen L, de Haan EH. A left-prefrontal lateralized, sympathetic mechanism directs attention towards social threat in humans: evidence from repetitive transcranial magnetic stimulation. *Neurosci Lett.* 2002; 319: 99-102.
- 20) Wang L, LaBar KS, McCarthy G. Mood alters amygdala activation to sad distractors during an attentional task. *Biol Psychiatry.* 2006; 60: 1139-46.
- 21) Choi US et al. Abnormal brain activity in social reward learning in children with autism spectrum disorder: An fMRI Study. *Yonsei Med J.* 2015; 56: 705-711.
- 22) Williams JM, Mohler EG, Bivens B. The role of the medial prefrontal cortex in attention: Altering predictability of task difficulty. *Psychobiology.* 1999; 27: 462-469.
- 23) Luritzen TZ, D'Esposito M, Heeger DJ, Silver MA. Top-down flow of visual spatial attention signals from parietal to occipital cortex. *J. Vision.* 2009; 9: 1-14.
- 24) Soros P et al. Inattention predicts increased thickness of left occipital cortex in men with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Front Psychiatry.* 2017; 8: 170.











原 著 論 文

敵対生成ネットワークによる文書分類

岩田一樹

東北福祉大学

要旨

本研究では、小論文やレポートの自動評価を目標に、教師なし学習の一つである敵対生成ネットワークの Discriminator に着目した 1 文の分類をタスクに実験を行った。敵対生成ネットワークには SeqGAN を用い、訓練データには夏目漱石の著書の文を用いた。その訓練データによる学習後、学習済みの Discriminator に、訓練データとは別の夏目漱石の著書における文、および、太宰治・芥川龍之介の著書の文を与え、夏目漱石の文の識別率を計算した。また、いくつかの教師あり学習モデルで同じタスクの学習を行い、結果の比較を行った。その結果、敵対生成により得られた Discriminator の識別性能が最も劣っており、その要因の一つには、Generator の生成する文が未熟であったことがあげられた。

キーワード：敵対生成ネットワーク、文書分類、深層学習

緒言

敵対生成ネットワーク (Generative Adversarial Network : GAN) は、2014年に I. Goodfellow らが考案した教師なし学習の生成モデルである¹⁾。この生成モデルは、訓練データを与え、その訓練データの特徴を反映した類似のデータを機械に生成させるものである。当初、GAN は画像データを対象として提案され、それまで不可能だった、機械による鮮明な画像の自動生成に成功し、大きな注目を集めた。そして、現在において、機械学習分野において最も盛んに研究されているアルゴリズムの 1 つである。

GAN は、生成器である Generator と識別機である Discriminator という 2 つの機構を有し、それら 2 つを敵対させ、競わせながら学習を進める (Fig. 1)。具体的に、Generator は与えられた訓練データを基にそれらの特徴を反映した類似のデータを目指してデータ生成を行うように学習する。それに対して、Discriminator には Generator が生成したデータと訓練データが与えられ、与えられたデータそれぞれが Generator によって生成されたものなのか、訓練データなのか、を正確に鑑別できるように学習する。この敵対関係にある 2 つの機構を競わせながら学習を行った結果、最終的に、Generator は訓練データの特徴を反映したデータを生成できるようになる。一方、Discriminator データの識別を通して、Generator の生成データがどのくらい訓練データの特徴を反映しているかを評価できるようになる。つまり、Discriminator は入力されたデータが訓練データか、生成データかを確率として出力するが、その確率が訓練データにどのくらい近いかの指標となるということである。

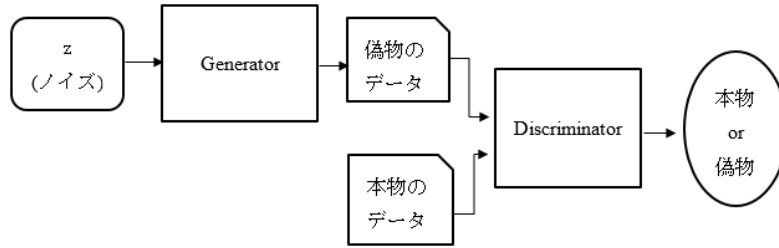


Fig. 1 GAN の概念図

GAN は、訓練データのラベルを 1、Generator の生成画像のラベルを 0 とした際に、以下の損失関数 V について、Discriminator である D に対しては最大化、Generator である G に対しては最小化することを目指して、学習を行う¹⁾。

$$V(G, D) = \mathbb{E}_{x \sim p_t(x)} [\log D(x)] + \mathbb{E}_{z \sim p_z(z)} [\log (1 - D(G(z)))] \dots (1)$$

ここで、 x は訓練データ、 $G(z)$ は生成データを示している。また、 $\mathbb{E}$ は期待値を意味しており、 $x \sim p_t(x)$ は訓練データからの抽出、 $z \sim p_z(z)$ は Generator が生成のシードとする z 空間のノイズからの抽出を意味する。

まず、Generator を固定して考えると、右辺第 1 項において、 $D(x)$ は入力が訓練データなので全て 1 を出力するのが理想であり、一方、 $G(z)$ は生成データなので $D(G(z))$ は全て 0 を出力するのが理想である。その結果、理想的な Discriminator において上式の V は最大値の 0 となる。(ラベルが 0 と 1 しかなく、その対数を取るので、 V は正の値になることはありえない。) それに対し、Discriminator を固定して考えると、上式の右辺第 2 項の $D(G(z))$ が全て 1 であるときに Discriminator を完全に騙せている理想的な Generator となるので、第 1 項に関わらず、 V は最小値、 $-\infty$ になる。実際には、理想的とはなりえないので、有限の最小値となる。したがって、 V を最大にする D と最小にする G の関数を決めるのが GAN の学習といえる。その後、このモデルは画像のみでなく、文章や音楽などの系列データにも適用されるようになり、現在、最も盛んに研究されている生成モデルとなっている。

また、画像を扱う場合には、生成器、ならびに、識別器のネットワークには畳み込みニューラル・ネットワーク (Convolutional Neural Network ; CNN) が用いられることが多い²⁾。CNN は、位置など局在的な変化に堅牢な局在不変性を仮定可能なニューラル・ネットワークのモデルで、最近の機械学習分野において中心的なアルゴリズムの 1 つであり³⁾、近年では、自然言語処理においても、CNN が利用されている⁴⁾。

一方、近年、大学教育において、アクティブ・ラーニングが重要視されるようになり、小論文やレポートを評価課題とすることが多くなった。そして、それら进行评估するにあたって、採点者の時間的負担の軽減、および、評価における採点のゆらぎの低減を目的に、自動評価システムの研究が行われるようになった⁵⁾。

従来の自動評価システムは、提出された文章を入力とし、その評価結果の出力をタスクとしている。そして、これらシステムの構築は、既存の「文章」と人が行ったその文章の「評価」の組を訓練データとして与え、その訓練データを元に機械が学習し、非訓練データ（この場合は、評価対象のレポート）の評価に適用する、または、採点においてヒューリスティックに重要と判断した量を特徴量として、それを基に評価する、または、これら 2 つの評価を組み合わせるといったアプローチが取られている。

上記の様に、訓練データを「入力データ」とその「正解」の組で与える学習は「教師あり学習」と呼ばれ、機械学習において重要であり、かつ、最も成功した1分野を築いている。しかし、教師あり学習においては、訓練データを作成する際に①大量の文章を人力によって評価する必要がある点、②人力で評価を行うため、訓練データの「正解」に評価ゆらぎが包含される可能性、が問題となる。特に、学習に数十万～数百万、または、それ以上の数の訓練データを学習に要するようになった今日、①の問題が大きくなっている。一方、ヒューリスティックに特徴量を設定する場合、その根拠が経験的なものであるため、その特徴が正しく評価の基準を捉えているかを確認するのが困難であると同時に、経験の共有が難しいために定義が困難な論理性的の評価は不可能といえるのが現状である。

一方、訓練データに「正解」を与えない機械学習のことを「教師なし学習」と呼び、教師なし学習においては、訓練データは「入力データ」のみで、その「正解」にあたるものを有さない。したがって、訓練データに対する人力による評価が不要であるため、教師あり学習よりも大きな訓練データを比較的容易に取得することが可能となり、上記①の問題を克服できる。また、人が評価を行わないので、②の問題はそもそも生じない。したがって、教師なし学習である GAN を利用することによって、上記①と②の課題を解決し、また同時に、従来と異なる機械のみの判断をベースにした小論文やレポートの自動評価が実現する可能性がある。そのためには、文章とは文の連なりであることから、1文がそのテーマの文書らしいか、そうでないかの識別を行う必要がある。1文の評価が可能になれば、例えば、文書全体で何文がそれらしいかで全体の評価が可能となる。

本研究では、GAN をベースとした小論文やレポートの自動評価の実現を目指し、それによる1文の識別が可能かを検討するために、GAN によってトレーニングされた Discriminator を用いた文書分類を行った。具体的には、夏目漱石の文を学習データに用い、GAN により学習させた後に、学習データに用いた以外の夏目漱石の文、太宰治の文、芥川龍之介の文の3種類を用いて、夏目漱石の文とそれ以外を分離できるのか実験を行った。この実験の意図は、レポートの評価を“レポートらしさ”で行うことを想定し、レポートの文中でそれらしいと識別される文の割合が反映すると推察しているからである。つまり、夏目漱石らしい文章を、文中で夏目漱石の文と識別される文の数で評価するために、1文が夏目漱石らしいかを機械が識別できるかを検討するということである。

また、「教師あり学習」の識別機との性能比較を行うために、代表的な識別モデルである Long term Short Memory (LSTM) 構造、CNN 構造、TextCNN 構造の識別器も作成し検討した。なお、GAN の Discriminator も TextCNN ベースのものをを用いる。

研究方法

本節では、分散表現、本研究で用いるネットワーク構造の説明を行った後に、SeqGAN について述べる。そして、その後、データセットと評価指標について述べる。

分散表現

ニューラル・ネットワーク・ベースに限らず、自然言語処理分野において、機械は言語についての内部表現を有さないで、文書は単語毎に ID が振られてはじめて機械の分析対象となる。ID が振られた後、単語をベクトルとして扱うことになるが、ニューラル・ネットワーク・ベースなどでは one hot ベクトルと呼ばれる、次元を登場単語数、そして、自らの ID を要素番号とする要素のみが1のベクトルに変換して扱われる。この one hot ベクトルは日本語の文書群では10,000次元程度を有し、1要素のみが1のスパースと呼ばれる非常に疎なベクトルとなる。しかし、一般的にスパースにおいて、ほとんどのベクトルの要素が0であるため、興味があり必要とされる情報は僅かにしか含まれず、次元を減らす次元圧縮を行う。

自然言語処理において、この次元圧縮することを分散表現と呼び、10,000程度の次元を100～300程度に次元圧縮する。分散表現の手法には主成分分析やトピックモデル⁶⁾などいくつかの手法があるが、ニューラル・ネットワーク・ベースの処理においては、その親和性から word 2 vec 表現⁷⁾を用いる場合が多い。本研究においても分散表現には、word 2 vec 表現を用い、圧縮後の次元は100次元とした。

Long Short-Term Memory (LSTM)

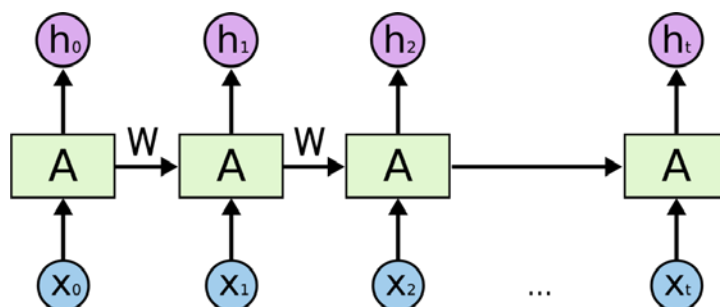


Fig. 2 シンプルな RNN の内部構造

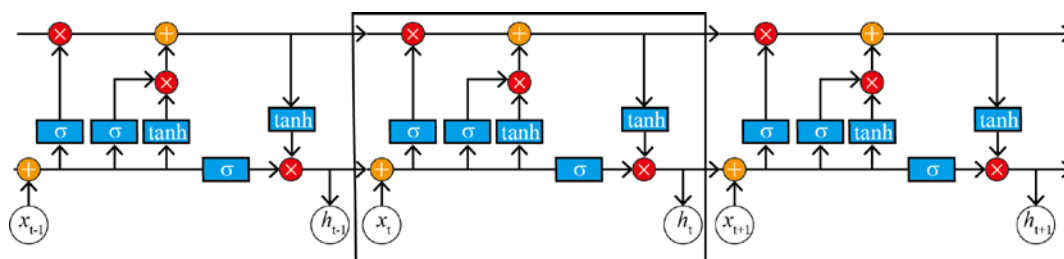


Fig. 3 LSTM の内部構造

LSTM の説明の前に、系列データを扱うニューラル・ネットワークの 1 つである再帰的ニューラル・ネットワーク (Recurrent Neural Network ; RNN) について述べる⁸⁾。まず、RNN の内部構造を Fig. 2 に示す。Fig. 2 において、 $X = (x_0, x_1, x_2 \dots x_t)$ は系列を有するベクトルの入力データで、 $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \dots \rightarrow t$ の順番を有する。本研究においては、分散表現された単語のベクトルがこれに該当する。また、 A はニューラル・ネットワーク、 $H = (h_0, h_1, h_2 \dots h_t)$ は入力 x_i ($0 \leq i \leq t$) に出力値 (h_i)、 W は系列間の重みを意味する。なお、図 2 は概念図であるため、系列間のバイアス項は省略している。そして、 t 番目の出力 h_t を、 t 番目の入力である x_t による出力と $t-1$ 番目の出力に由来する Wh_{t-1} の和として下式で与える。

$$h_t = AX_t + Wh_{t-1}.$$

この計算を逐次的に行うことで系列を取り扱うモデルが RNN である。

ただ、この RNN モデルには W の積とみなされる項があるため、 W が 1 付近でない場合、系列情報が 0 になってしまったり ($W < 1$)、逆に、発散してしまったり ($W > 1$) する問題があった。この問題を「忘却ゲート」「入力ゲート」「出力ゲート」と呼ばれる 3 つの機構を用いて改善したモデルが Long Short-Term Memory (LSTM) と呼ばれるものである⁹⁾。LSTM の概念図を Fig. 3 に示す。ここで、 σ はシグモイド関数、 $\tanh$ は双曲線正接・余接関数を意味する。

枠で囲まれた部分が $t=t$ における LSTM の処理の部分であり、単純な RNN との大きな違いは、前の枠

($t-1$) から2つの情報 (2つの矢印) を引き継ぎ、同じく、 $t+1$ に2つの情報を渡す点である。大まかに言って、RNN では下方の矢印のみである。ゲートとは基本的にシグモイド関数の部分で、シグモイド関数が (0, 1) の出力であるため、それとの積 ($\times$) の箇所においては、引数に対してシグモイド関数の出力が0に近いときには不要な情報として継承を遮断し、1に近い時は必要な情報として引き継ぐことになる。これによって、人における忘却と記憶を表現している。なお、Fig. 3で σ がある箇所が左から忘却ゲート、入力ゲート、出力ゲートである。また、双曲線正接・余接関数は (-1, 1) を出力する関数なので、定性的には、引数となる情報に+か-の符号を付けているとみなされる。

このLSTMは、文書を単語の系列データとみなして文書分類のタスクに用いられることもある一方で、 $t-1$ までの情報を元に t を予測するタスクもこなせるモデルであるため、識別のタスクにも生成のタスクにも利用される¹⁰⁾。本研究においても、このLSTMを文書識別、および、GANにおいてGeneratorとして用いている。

識別タスクにおけるLSTMの構造はone hot ベクトルを100次元に圧縮する分散表現層、LSTM層、出力層とし、入力→分散表現層 (100) →LSTM層 (セルサイズ: 256) →出力層 (2) とした。最後の出力層の出力が2なのは、タスクが夏目漱石の文か、そうでないかの2値分類タスクだからである。また、学習は、オプティマイザにRMSpropを学習係数0.0001で用い、学習回数は500 epochsとした。

Convolutional Neural Network (CNN)

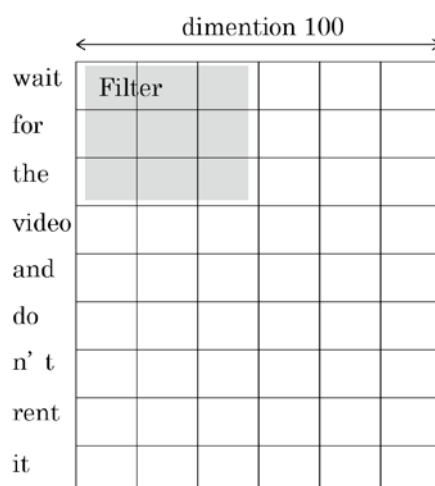


Fig. 4 CNNの概念図

畳み込みニューラル・ネットワーク (CNN) は、位置など局在的な変化に堅牢な局在不変性を仮定可能なニューラル・ネットワークのモデルで、近年の機械学習分野、特に、深層学習分野 (Deep Learning) において中心的な役割を果たしているネットワーク構造である。通常、文書においてCNNを用いる場合は、次に述べるTextCNNを用いるが、本研究では実験的に、分散表現した文書をFig. 4で示した2次元配列 (画像) として捉え、画像を処理する際の手法でも文書分類を行った。

1文の最大長は20単語、分散表現で100次元とし、1文を20 pix、100 pixの画像と等価に扱い、CNN構造は全ての畳み込み層のフィルタのカーネルサイズを3x3、ストライドを1とし、入力層→分散表現層→2次元配列化 (20x100) →畳み込み層 (フィルタ数: 16) →畳み込み層 (フィルタ数: 16) →畳み込み層 (フィルタ数: 32) →畳み込み層 (フィルタ数: 32) →全結合層 (ノード数: 512) →出力層 (ノード数: 512) →出力 (2) である。なお、本研究ではpooling層を用いていない。また、学習は、オプティマイザにRMSpropを学習係数0.001で用い、学習回数は500 epochsとした。

TextCNN

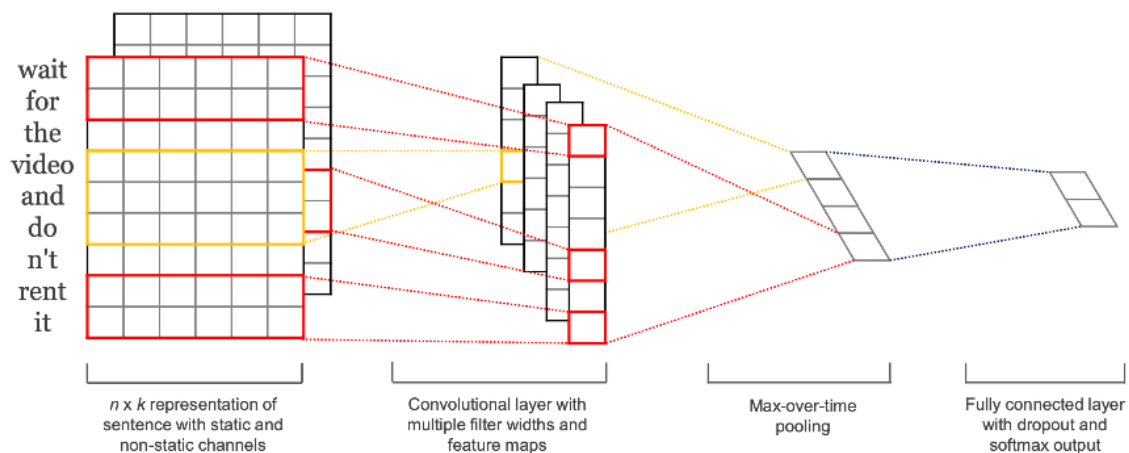


Fig. 5 TextCNN の概念図 (5) から引用

TextCNN は CNN を使ってテキスト分類に取り込んだ手法で、文分類を目的としている⁴⁾。したがって、長い文書の分類よりは、1 文または複数の文からなる短い文書の分類に適しており、感情分析、評判分析や質問タイプの分類などの短い文書を対象とするタスクに用いられる。

TextCNN のネットワーク構造の概念図を Fig. 5 に示す。左から右へ、入力から出力となっていて、左から、分散表現層、畳み込み層、Max プーリング、全結合層、出力層となっている。上記の CNN との違いは、上記 CNN が分散表現された 1 文を“画像”として取り扱い、一般的な CNN 構造で処理しているのに対して、TextCNN は畳み込みに用いるフィルタが、フィルタに入れる単語数×分散表現のベクトル次元となっている点と、Max プーリング層において、1 文全体から最大値を取得し、それを最後の全結合層への 1 入力としている点である。

CNN と同じく、文の最大長は 20 として、TextCNN 構造は、入力層→分散表現層→2 次元配列化 (20x100) →畳み込み層→Max Pooling 層→出力層 (2) である。なお、畳み込み層において、1 フィルタに入る連続する単語数は [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20] で、それぞれに対応するフィルタ数は [100, 200, 200, 200, 200, 100, 100, 100, 100, 100, 160, 160] である。具体的には、連続する 2 単語のフィルタは 2 x 100 のフィルタ、3 単語のフィルタは 3 x 100 などのカーネルサイズとなる。そして、その 1 つの畳み込みの結果全体で Max Pooling を取るので、Max Pooling 層の出力は 1,720 となり、それから出力層の 2 を得る構造になっている。学習は、オプティマイザに RMSprop を学習係数 0.0001 で用い、学習回数は 500 epochs とした。

なお、この構造は次項で説明する、SeqGAN における Discriminator と同じである。

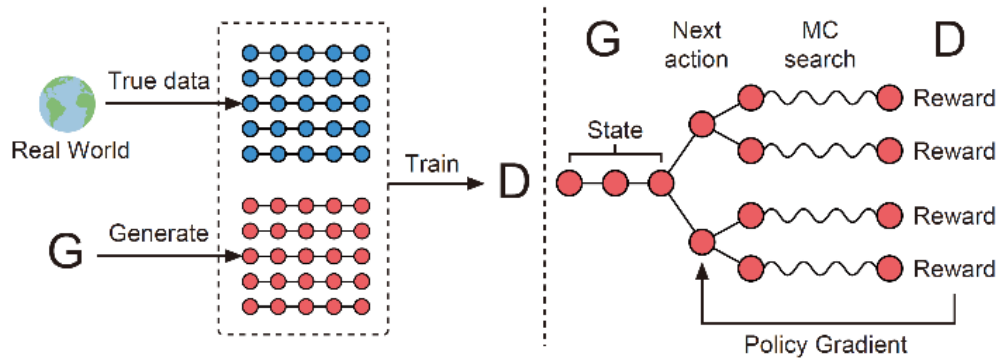


Fig. 6 SeqGAN の概念図 (6) から引用

本研究で検討すべき Discriminator を得るための GAN には、文章生成を目的としている SeqGAN を用いた^{10), 11)}。SeqGAN は、系列を有さない画像のようなデータを対象とした GAN と異なり、文のような系列（順番がある）データを扱うモデルである。そのため、Generator には系列データの取り扱いが可能な上記で説明した LSTM を先行研究から用い、Discriminator には TextCNN を用いた。また、教師あり学習時の TextCNN との比較ができるよう、TextCNN の構造は前節の構造で統一している。

SeqGAN の特徴は、系列データを生成するにあたって、1 文字目から $t-1$ 文字目までの単語系列： $Y_{1:t-1}$ から t 番目の単語 y_t を予測するために、Fig. 6 の概念図にあるように y_{t+1} 以降をモンテカルロ法（乱数）により規定回数回生成し、その結果も含めて真偽を識別器に判定させ、それらを元に、 $Y_{1:t-1}$ から y_t を生成した結果の評価値を決定する点である。このように処理をする理由は、順番を有さない、例えば、画像データであれば、単に Generator の出力に対して、Discriminator が評価を行えばよいが、系列がある場合、Generator は文全体を 1 回に生成するのではなく、1 単語目から 1 単語ずつ順番に生成していくためである。一方、Discriminator は 1 文全体に対して真偽の判定をするため、生成途中で扱うことが出来ないためである。また、別の見方をすると、敵対学習によって、LSTM は t 文字目を生成の適切さ学習し、モンテカルロ法と Discriminator によって、文全体の文法などの整合性を学習しているとも解釈できる。

SeqGAN における生成器の誤差関数 (J_θ) は下式によって与えられる。

$$J_\theta = \sum G_\theta(y_t | Y_{1:t-1}) Q_{D_\phi}^{G_\theta}(Y_{1:t-1}, y_t).$$

$$Q_{D_\phi}^{G_\theta}(s = Y_{1:t-1}, a = y_t) = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N D_\phi(Y_{1:T}^n), & Y_{1:T}^n \in \text{MC}^{G_\theta}(Y_{1:t}; N) \text{ for } t < T. \\ D_\phi(Y_{1:t}) & \text{for } t = T. \end{cases}$$

ここで、 G_θ (G_β) は θ (β) をパラメータとする LSTM を用いた生成器、 D_ϕ は ϕ をパラメータとする TextCNN を用いた識別器、 Q は報酬関数である。この誤差関数は、 $Y_{1:t-1}$ から y_t を生成する尤度を報酬関数で表し、それを生成器によって $Y_{1:t-1}$ から y_t を生成される確率で期待値をとることに相当する。また、報酬関数は、 $Y_{1:t-1}$ から y_t を生成器によって生成した後、以降をパラメータ更新する前の生成器 (G_β) からモンテカルロ法とマルコフ連鎖により複数生成し、その生成結果を識別器で評価、その上で、平均化したものである。この誤差関数によって、生成器は報酬関数が最大となるようにパラメータ θ を方策勾配法にて更新する。

一方、識別器は一般の GAN と同様に、

$$V = \mathbb{E}_{Y \sim \text{data}} [\log D_{\phi}(Y)] + \mathbb{E}_{Y \sim G_{\theta}} [\log (1 - D_{\phi}(Y))].$$

が最大になるよう ϕ を更新する。なお、この式は識別器が全ての入力に対して真偽を正しく識別した際に最大値 0 となる。

本研究における SeqGAN の Generator は 6) と同じネットワーク構造とし、Discriminator は TextCNN の説明したものと同一構造を用いた。また、学習は 10) の文献を参照し、Generator のプレトレーニングを 200 回、Discriminator のプレトレーニングを 5 回、敵対学習は 500 回行った。また、Generator、Discriminator とともにオプティマイザには RMSprop を用い、学習率はそれぞれ、0.01 と 0.0001 とした。そして、モンテカルロ法での分生成の回数 (Rollout) は 16 回と 128 回の 2 種類で敵対学習を行った。

データセット

研究に用いる文データは青空文庫から収集した¹²⁾。

GAN の訓練データには、夏目漱石の著書から『坊っちゃん』『門』『夢十夜』『私の個人主義』の 4,504 文を用いた。その他の識別タスクの学習データには、GAN の訓練データに加え、太宰治、および、芥川龍之介の著書から『人間失格』『グッド・バイ』『走れメロス』『畜犬談』『女生徒』(4,092 文)『鼻』『羅生門』『戯作三昧』『地獄変』『河童』『或阿呆の一生』『菌車』『藪の中』(2,532 文)を加え、夏目漱石の文には 1、その他の文には 0 の正解ラベルを付した。

評価データは、夏目漱石の著書から『吾輩は猫である』『心』『それから』の文の中からランダムで抽出した 3,000 文、太宰治の著書から『トカトン』『お伽草子』『あさましきもの』『HUMAN LOST』の全 2,114 文、芥川龍之介の著書から『トロッコ』『蜘蛛の糸』『杜子春』『芋粥』『犬と笛』『煙草と悪魔』『舞踏会』『猿蟹合戦』『仙人』『大川の水』『南京の基督』の全 847 文を用い、夏目漱石の文か、そうでないかの識別を行った。なお、訓練データにおいて夏目漱石の文をランダム抽出しているのは、太宰治と芥川龍之介の文数を加えた数に合わせるためである。

評価指標

本研究では、識別を 2 値分類問題、すなわち、夏目漱石の文か、そうでないか、を扱っているので、評価指標には、精度 (Accuracy)、適合率 (Precision)、再現率 (Recall)、F 値 (F1 Score) を用いた。以下では、それぞれについて簡単に説明を加える。

精度は全データの内、正しく予測した割合を測定した指標で、混同行列の要素を使用し表す。ここで、混同行列とは分類したデータの正解・不正解の件数をまとめた表であり、2 値分類の場合、4 つに区分分けされる (Fig. 7)。

		予測したクラス	
		P	N
実際のクラス	P	真陽性 (True Positive)	偽陰性 (False Negative)
	N	偽陽性 (False Positive)	真陰性 (True Negative)

Fig. 7 混同行列（2値分類の場合）

4つの区分はそれぞれ真陽性（True Positive）、真陰性（True Negative）、偽陽性（False Positive）、偽陰性（False Negative）と呼ばれる。真（True）と偽（False）は予測したクラスと実際のクラスが一致したか否かを表し、陽性（Positive）と陰性（Negative）は予測したクラスが何かを表す。すなわち、真陽性と真陰性は予測結果が正解、偽陽性と偽陰性は予測結果が不正解であることということである。

正解率はこれらを用いて全データ中の正解データの割合を以下の式で算出する。

$$\text{正解率} = \frac{\text{真陽性} + \text{真陰性}}{\text{真陽性} + \text{偽陽性} + \text{真陰性} + \text{偽陰性}}$$

次に、再現率はデータ内の陽性数に対して正しく予測した割合、適合率は陽性と予測した数の中で正しく予測した割合を、それぞれ、表す。具体的に、再現率と適合率は以下の式で算出される。

$$\text{再現率} = \frac{\text{真陽性}}{\text{真陽性} + \text{偽陰性}}$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{真陽性}}{\text{真陽性} + \text{偽陽性}}$$

最後に、F値は再現率と適合率の調和平均を取ったもので、再現率と適合率のどちらか一方に偏らせずに評価を行なう際に使用され、以下の式で算出する。

$$F1 = \frac{2 \cdot \text{適合率} \cdot \text{再現率}}{\text{適合率} + \text{再現率}}$$

本研究においては、混同行列、および、これら4つの評価指標によって得られた識別機の性能を評価する。

結果

以下では、研究方法のデータセットの節で説明した学習用データセットで学習を行い、その後、評価用のデータセットを用いて夏目漱石の文か、そうでないかを識別した結果を述べる。上述の通り、教師あり学習を行っている LSTM 識別器、CNN 識別器、TextCNN 識別器においては、夏目漱石の著書（4 冊）に含まれている文に 1 のラベルを付け、その他の太宰治、および、芥川龍之介の著書（合計13冊）に含まれた文には 0 のラベルを付けた後に学習を行っている。一方、識別機の構築に GAN を用いる際には、教師あり学習で用いたものと同じ夏目漱石の著書（4 冊）に含まれている文のみを訓練データに用いている。なお、評価データについては、4 つのモデルとも同じものを用い、混同行列の配置は Fig. 8 の通りである。

実際のクラス	予測したクラス	
	夏目漱石を正しく識別 (True Positive)	夏目漱石をその他と識別 (False Negative)
	その他を夏目漱石と識別 (False Positive)	その他を正しく識別 (True Negative)

Fig. 8 混同行列の内容

学習済み LSTM 識別器の評価データに対する識別結果の混同行列を Table 1 に示す。この時の正解率は0.732、適合率が0.669、再現率が0.911、F 値が0.771である。なお、学習データに対しては、正解率で0.998であった。

Table 1 評価データに対する LSTM 識別器の混同行列

実際のクラス	予測したクラス	
	1666	1334
	265	2696

学習済み CNN 識別器の評価データに対する識別結果の混同行列を Table 2 に示す。この時の正解率は0.740、適合率が0.831、再現率が0.607、F 値が0.702である。なお、学習データに対しては、正解率で0.997であった。

Table 2 評価データに対する CNN 識別器の混同行列

実際のクラス	予測したクラス	
	1821	1179
	370	2591

学習済み TextCNN 識別器の評価データに対する識別結果の混同行列 Table 3 に示す。この時の正解率は0.735、適合率が0.683、再現率が0.870、F 値が0.765である。なお、学習データに対しては、正解率で0.997であった。

Table 3 評価データに対する TextCNN 識別器の混同行列

実際のクラス	予測したクラス	
	1805	1195
	385	2576

SeqGAN によって学習させた TextCNN 識別器の評価データに対する識別結果の混同行列を Table 4

に示す。この時の正解率は0.494、適合率が0.497、再現率が0.407、F 値が0.447である。なお、敵対学習終了時において、生成文と訓練の文との識別の正解率は1.000であった。

Table 4 評価データに対する敵対学習によって構築した TextCNN 識別器の混同行列

実際のクラス	予測したクラス	
	1220	1780
	1234	1727

以上、4つの識別機における指標をまとめると Table 5 となる。

Table 5 評価データに対する各識別器の評価指標のまとめ

	LSTM	CNN	TextCNN	TextCNN (GAN)
正解率	0.732	0.74	0.735	0.494
適合率	0.669	0.831	0.638	0.497
再現率	0.911	0.607	0.87	0.407
F 値	0.771	0.702	0.702	0.447

考察

Table 5 から各識別器の特徴として、LSTM 識別器は再現性が高く、CNN 識別器は適合率が高いことが見て取れる。すなわち、前者はその他も夏目漱石の文と認識してしまうこともあるが、夏目漱石の文は夏目漱石の文と識別することに長けている、一方、後者は夏目漱石の文を見逃してしまうことはあるが、夏目漱石の文と識別した際の的中率は高いという特徴を持っている。

また、混同行列からは教師あり学習で構築した3つのモデルに共通した特徴として、False Positive の数が False Negative と比較して少ないことが見て取れる。つまり、その他の作家の文を夏目漱石の文と識別することは少ないが、夏目漱石の文をその他に識別することは多いということである。この特徴が、本研究の作家の組み合わせに特有のものなのか、一般的に、1文の識別タスクにおいて教師あり学習を採用した場合に、Negative を Positive と識別することは少なく、Positive を Negative と識別することが多いのかは本研究のみでは結論を得られないので、さらなる実験、検討を要する。

そして、1文のみによって、夏目漱石の文か否かを識別するタスクにおいて、教師あり学習によって得られた識別器の正解率は0.73~0.74程度であったのに対して、GANによって訓練された識別器の正解率は0.494と著しく低いものとなった。ただし、教師あり学習で得られた全く同じネットワーク構造を有する TextCNN の正解率が0.735であるため、TextCNN 構造自体のポテンシャルは、最低でも、正解率で0.7程度はあるため、学習において、何らかの課題があることが推察される。

この点について、敵対学習時において、学習回数が200回目程度から、生成文と訓練の文との識別の正解率が1.000になってしまったのが一つの要因と考えられる。GANにおける敵対学習の大きな困難さの1つには、Generator と Discriminator の学習速度の調整がある。すなわち、Generator よりも Discriminator の学習が極端に速く進んでしまい、その結果、完璧に生成データと訓練データを識別できるようになってしまうと、数式的には、(1) 式が最大値である 0 から変わらなくなってしまう、Generator において何をしても結果が変わらないので学習の方向性が定まらず、学習が進まなくなってしまう。本研究の仮説を言葉にすると『敵対学習によって“夏目漱石らしい”特徴を反映した文を生成する Generator と Discriminator が敵対的に競うことによって、Discriminator が“夏目漱石らしい”かどうかを識別できるようになる』となるが、Generator が“夏目漱石らしい”文を生成できるようになっていな

いので、Discriminator が十分に学習できていない可能性があるということである。

そこで、Generator の学習が Discriminator の学習よりも相対的に速く進むよう、Rollout の回数を128 回に増やし、他の条件は変えず、敵対学習を行ったところ、評価データに対する混同行列は Table 6 となり、正解率は0.530、適合率が0.561、再現率が0.031、F 値が0.339 となり、正解率がやや改善した。なお、敵対学習終了時において、生成文と訓練の文との識別の正解率は0.973であった。

得られた混同行列で特徴的なのが、評価データに対する識別の出力が大きくその他に傾いた点である。すなわち、識別機としては、夏目漱石らしい文章は評価データに含まれた文の中には、少ないと判断しているということである。

Table 6 評価データに対する敵対学習によって構築した TextCNN 識別器の混同行列

実際のクラス	予測したクラス	
	930	2070
	729	2232

教師あり学習においては、学習時に夏目漱石の文もその他 2 人の作家の文も入力されるので、Positive と識別すべき文も Negative と識別すべき文の特徴も識別器は学習しているのに対し、敵対学習の場合は、Positive と識別すべきデータの特徴しか学習で扱わない。したがって、後者の識別性能を向上させるためには、Generator が生成する文の“質”が重要であることが本研究でわかった。実際、Rollout の数を増加させることで、正解率が向上している。今後、Generator の学習を工夫し、テーマに沿った文の生成を向上させることで、Discriminator の識別率も向上すると考えられる。その方針には、訓練データ数の増加、学習の最適化、学習回数の増加、GAN の種類の変更などが考えられる。

まとめ

本研究では、GAN をベースとした小論文・レポートの評価システムの構築を目標に、敵対学習によって得られた Discriminator による 1 文の識別が可能かを検討した。その結果、現時点で、利用可能といえる識別器の取得には至らなかったが、敵対学習を行う際、Generator の学習を検討することで、性能向上が可能となることが示唆された。

謝辞

本研究は JSPS 科研費18K13240の助成を受けて実施されたものです。

参考文献

- 1) I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville, and Y. Bengio, “*Generative adversarial nets*”, Advances in Neural Information Processing Systems, pp. 2672-2680, 2014.
- 2) Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, “*Gradient-based learning applied to document recognition*”, Proc. of the IEEE, pages 2278-2324, 1998.
- 3) 岡谷貴之, 『深層学習』. 講談社, 2015.
- 4) Y. Kim, “*Convolutional Neural Networks for Sentence Classification*”, Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing.
- 5) 石岡恒憲, 人工知能学会誌, Vol.23, pp.17-24, 2008.
- 6) 岩田具治 『トピックモデル』 講談社 2015年.

- 7) T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado and J. Dean, "Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space". <https://arxiv.org/abs/1301.3781>
- 8) 斎藤康毅, 『ゼロから作る Deep Learning 2』 オライリー・ジャパン. 2018.
- 9) S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long Short-Term Memory", Journal Neural Computation, vol 9, pages 1735-1780, 1997.
- 10) 岩田一樹, 『敵対生成ネットワークによる文書生成』, 感性福祉研究所年報, 21, pp.53-64, 2020.
- 11) L. Yu, W. Zhang, J. Wang, and Y. Yu, "SeqGAN: Sequence generative adversarial nets with policy gradient", AAAI, pp.2852-2858, 2017.
- 12) 青空文庫 <https://www.aozora.gr.jp/>

原 著 論 文

フォトグラメトリ技術を用いた建築物の3DCGモデルの試作 －3Dバリアフリーマップの実現に向けて－

柳田恵梨奈、漆山純一

東北福祉大学

要旨

日本の多くの自治体では、高齢者や障がい者を含めたすべての人が生活しやすい街づくりを進めている。その中でも、移動の円滑化という観点からバリアフリー化が推進されており、その情報提供の一環として、Webや紙媒体によるバリアフリーマップが作成されている。しかし、二次元情報だけでは、高齢者や障がい者が必要な情報を補いきれない。そこで、3Dバリアフリーマップで必要な情報が提示できるのではないかと考えた。本研究では、建築物内を含めた3Dバリアフリーマップの実現に向けて、建築物の外観と内部の3DCGモデルの試作を行った。外観は、UAVで撮影した静止画をもとに、フォトグラメトリ技術を用いて作成し、実物に近いスケールで再現した。また、建物内部は縮尺を同じにすることや、適切な配置物の作成、色、明るさなどを考慮して再現した。さらに、段差やエレベーターなどの情報を提示するとともに、建物内を任意に歩き回って見渡すイメージの再現（ウォークスルー）ができた。なお、一部の配置物についてはフォトグラメトリ技術を用いて3DCGモデルを作成した。フォトグラメトリ技術による3DCGモデル作成は、モデリングソフトで一から作成するよりも短時間かつ正確であり、本技術を用いることで、実用性の高い3Dバリアフリーマップ作成に活かすことができると考えられる。

キーワード：バリアフリーマップ、3DCGモデル、フォトグラメトリ、UAV、SfM/MVS処理

1. はじめに

各自治体では、高齢者や障がい者を含めた全ての人が生活しやすい街づくりを進めている。そのため、福祉のまちづくり条例等では、公共建築物の構造および設備や道路などの整備基準を定めている。また、移動や施設を利用する際の利便性や安全性を向上させるために、バリアフリー化を推進している。これらの情報提供の一つとして、バリアフリーマップの作成がある。しかし、車椅子ユーザへの調査では、自治体から提供されているバリアフリーマップの利用率は低いとされている。理由として、印刷物やWeb等による二次元情報では、具体的なバリア情報を把握することは容易ではなく、出先で困ったという経験が挙げられている¹⁾。そのため、バリアフリーマップをはじめとした地図・案内図として、物体を立体的に表示できる三次元情報の活用が考えられる。例えば、一度も行ったことのない場所であっても、三次元情報であれば、どこにエレベーターがあるのか、段差や勾配、スロープの場所など二次元情報では認知しにくい情報を得ることができる。Yanagida et al. 2019の研究では、バリア情報を360度映像として提示することによって、実際の悪路や勾配などの状況が理解しやすいことを報告している²⁾。しかしながら、映像を使用しているため、地図上のどこへでも自由に移動できるわけではない。また撮影方法により映像の揺れが大きく、実際の感覚以上に路面が荒く感じる等、課題が残されている。また、一部に変更があった場合、映像の撮り直しや修正が困難であるという問題があった。

この問題を解決するための方法の一つとして、映像を3DCGモデル化することが考えられる。しかし、公共施設周辺のバリアフリー情報を3DCGモデルで提示しようとした場合、その実現には専門的な知識と、大きなコストがかかる。誰でも簡単に、かつ正確に建物などの3DCGモデルを作成することができれば、これらの問題を解決でき、福祉社会に貢献できると考えられる。

ここで注目されるのが、フォトグラメトリ技術（Photogrammetry 技術（後述））である。近年、Structure from Motion（他視点画像からの三次元形状復元；以下、SfM と略す）や Multi-View Stereo（多眼ステレオ；以下 MVS と略す）、Scale-invariant feature transform（スケール不変特徴変換；以下 SIFT と略す）などの画像処理技術を活用した三次元形状復元技術や撮影位置推定技術が発展し、撮影した画像等からの三次元モデルの生成が簡便に行う事ができるようになっている³⁾。さらに、Unmanned Aerial Vehicle（無人航空機、通称「ドローン」；以下 UAV と略す）が一般にも普及し、それにより撮影された映像・画像が、新しい表現手法として、テレビや映画、さらには SNS にも用いられている。これらを活用すれば、従来の手法より簡単に3DCGモデルを作成できる。

現在、道路や公園など屋外の地図情報を PC やスマートフォンで閲覧できるサービスが提供されている。Web や紙媒体の情報に加え、このような地図を用いて移動のシミュレーションを行うことができる。しかし、これらのサービスではほとんど屋外の情報しか得られない。そのため、施設に到着することができても施設内を移動する際にバリアに直面してしまう。ドアの広さや多目的トイレ、エレベーターまでの経路など、移動の円滑化や生活しやすい環境を整えていても、情報が足りないことで不自由さを感じてしまう。

そこで、本研究では3Dバリアフリーマップ作成の実現に向けて、UAVで撮影した写真から建築物の外観の3DCGモデルを作成することと共に、内部を作りこみ、建築物の内部を自由にウォークスルーできる3DCGモデルの試作を目的とする。今回はその過程と再現性について報告する。

2. フォトグラメトリ技術について

2.1 フォトグラメトリ技術

フォトグラメトリ技術とは、複数枚撮影されたデジタル写真を元に3DCGモデルを作成する一連のプロセスのことである。フォトグラメトリ技術の中で重要となってくるのが SfM/MVS である。撮影された写真から特徴点の抽出を行い、画像間の共通特徴点の認識、カメラモデルの最適化を行い⁴⁾、簡易的な三次元点群データの作成を行う。そこで作成された三次元点群データをもとに MVS 処理を施し、さらに点群が高密度化される⁵⁾⁶⁾。それを元に3DCGモデルの作成を行う。処理の一連の流れとしては以下の通りである（Fig. 1）。

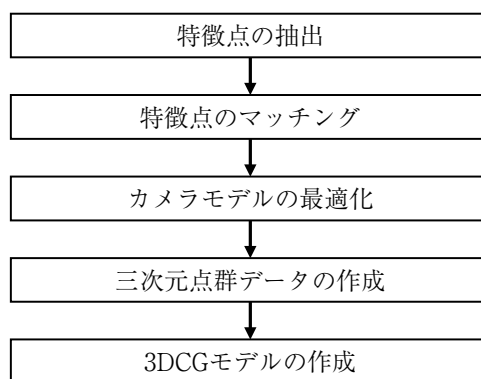


Fig. 1 フォトグラメトリ技術

2.2 SfM/MVS 処理

形や色などの際立った部分の点群データを特徴点と呼ぶ。まず、SfM 処理で同じ物体を別角度から撮影された写真から特徴点の抽出を行う。特徴点の抽出には SIFT のアルゴリズムを用いられている。このアルゴリズムは、特徴点検出（ディテクタ）と特徴量記述（ディスクリプタ）で構成される。ディテクタは画像からの特徴点の候補（輝度変化が最大となる画像上の位置）とスケール（特徴点における画像の拡大率に対応する値）を検出し、有効な特徴点の候補を絞り込むことによって、画像の特徴点を検出する。ディスクリプタでは、ディテクタによって検出された特徴点のそれぞれについて「向き」を定義する。そして、画像の回転変化に不変な特徴量（特徴ベクトル）を取得する⁷⁾。

決定された特徴点をもとに、複数の画像を比べて特徴点が類似している部分を同一とみなしマッチングする。異なる画像を比べマッチングされた特徴点がどれだけ移動しているかで視差を求める。この視差をもとに撮影したカメラの位置・角度の推定を行う。そのため SfM 処理に用いる画像はオーバーラップ率（被写体の同一部分が画像中に含まれている割合）が高いほど共通の特徴点が増え、3 DCG モデルの精度が向上する⁸⁾。さらに画像に含まれる Exchangeable image file format（以下 Exif と略す）を用いる。これは GPS 機能を搭載する媒体で撮影された画像に含まれる情報であり、撮影日、本体情報、位置情報、焦点距離や絞り値等のデータが含まれている。SfM/MVS 処理には Exif の位置情報等を付加することでより正確な 3 DCG モデルの生成が可能となる。

SfM 処理だけでは簡素な 3 DCG モデルになってしまう。そのため、SfM 処理により得られたカメラパラメータおよび画像情報を利用し MVS 処理に移る。MVS 処理では高密度な三次元点群を算出することで、テクスチャ付きポリゴンモデルとして復元を行う。また、MVS の一手法である patch-based-Multi-view Stereo (PMVS) では、画素群から法線付きの三次元点群を復元し、それをメッシュモデルに変換することで、より再現度の高い 3 DCG モデルの作成ができる。

3. 開発工程

本研究では、3D バリアフリーマップ等への応用を考え、建築物を 3 DCG モデルで再現し、VR 空間内でその建築物内をウォークスルーできるソフトウェアの開発を行った。開発環境は Table 1 に示す。再現した建築物は、東北福祉大学国見ヶ丘第一キャンパス ウェルコム21である。6 階建てであり、屋上 (PH 階) を有する建物である。正面が半円形状のガラス張りの特徴的な建物である。

Table 1 開発環境

開発機器	Dell G 3 15
開発 OS	Windows10 Pro
統合開発環境	Unity Technologies : Unity5.6.3p 2 (開発言語 C#) 使用目的 ソフトウェアの開発 建物外観の修正、テクスチャの設定
使用ソフトウェア	Agisoft : PhotoScan Autodesk : ReCap Photo 使用目的 フォトグラメトリ作成 Blender Foundation : Blender2.7.9 使用目的 3 DCG モデルの修正、建物内部の作成

3.1 建築物外観の作成

フォトグラメトリ技術を用いて、建築物を3DCGモデルで再現するためには、建築物を様々な角度から撮影する必要がある。また、フォトグラメトリ技術を用いるためにカメラを搭載したUAVを用いて撮影を行った。使用したUAVは、DJI社PHANTOM 4 Pro+V2.0である（Table 2、Fig. 2）。

Table 2 PHANTOM 4 Pro+V2.0

機 体	
機体形式	マルチモーター方式（4軸）
動力	モーター式（バッテリー駆動）
重量	1375g
対角寸法	350mm
最大速度	72km/h（Sモード）、58km/h（Aモード）、50km/h（Pモード）
運用限界高度（海拔）	6000m
最大風圧抵抗	10m/s
最大飛行時間	約30分
カメラ	
センサ	1" CMOS、有効画素数：2,000万画素
レンズ	視野角：84°、8.8mm/24mm（35mm判換算）、 f/2.8～f/11 オートフォーカス（1m～∞）



Fig. 2 PHANTOM 4 Pro+V2.0と操作用コントローラ

UAVに搭載されたカメラを用いて、視野角84度、オートフォーカスで、5472 × 3078ピクセルの画像を様々な位置から240枚撮影した。なお、撮影時の天候は曇りであった。

撮影した画像をもとに3DCGモデルを作成した。3DCGモデル作成に用いたソフトウェアは、Agisoft社PhotoScanである。フォトグラメトリ技術を使用することで3DCGを作成する事ができ、地形や測量の分野など大きなものに対しても使用可能である。

本研究では撮影した写真より192枚を使用した。撮影した写真をPhoto Scanにインポートしアラインメントを行うことで、撮影位置の推定や位置合わせを行い、粗い点群データを取得することができる（Fig. 3）。さらに高密度構築クラウドを実行する事で、アラインメントした点群データより高密度な点群データが取得できる（Fig. 4）。この高密度点群データの生成の過程でメッシュデータが得られる。これらの処理により外観のモデルが生成された。作成された3DCGモデルはFBX形式でエクスポートした。

作成した3DCGモデルをウォークスルーできるようにするため、Unityへインポートしようと試みた。

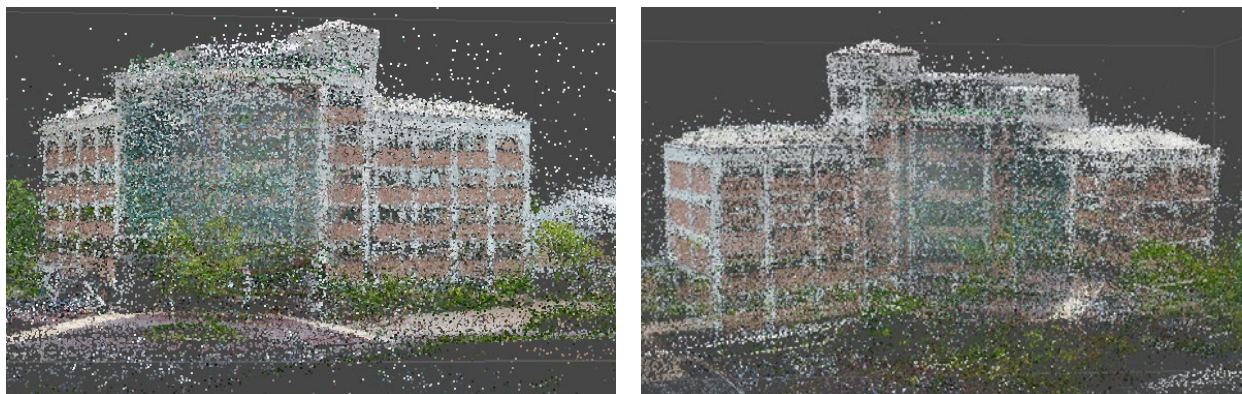


Fig. 3 写真から抽出した点群データ（左：正面、右：背面）

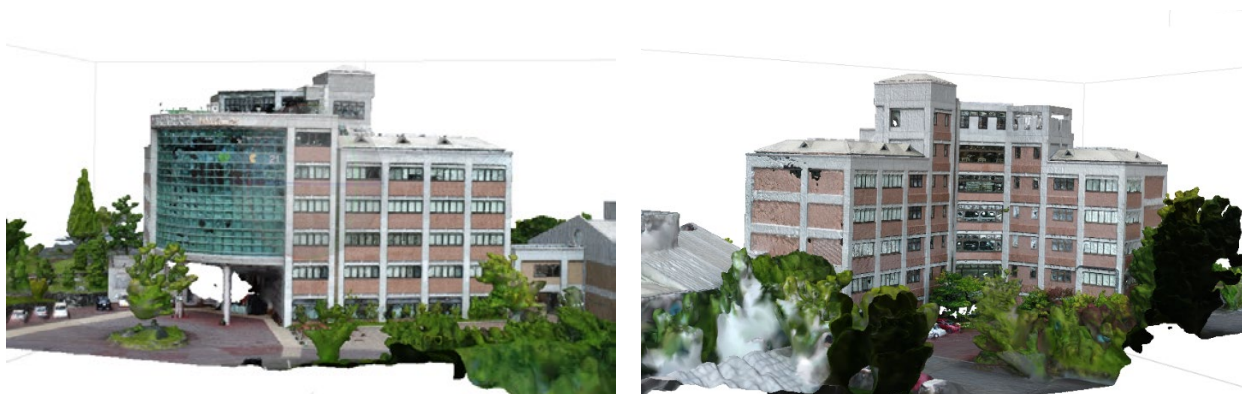


Fig. 4 高密度色付点群データ（左：正面、右：背面）

しかし、ファイルの容量が大きくインポートができなかった。この現象はポリゴン数が多いことが原因の一つであった。そのため、Blenderで修正を行った。まずは、頂点を削減する作業を行った。モディファイアから「ポリゴン数の削減」を選択し、3DCGモデルの形状を損なわないところまで頂点数の削減を行った。頂点数を減らした後は、平坦な部分で頂点数が少なくてもよいと判断した部分をBlenderのツール内の「重複頂点の削除」により頂点の削減を行った。この作業により、約120万あった頂点数を約14万まで減らすことができた。また、窓の鏡面や陰になってしまい、構築が不鮮明である箇所や欠損部分については面を一旦削除し、新しくメッシュの張り直しを行った（Fig. 5）。これらの作業により、Photo Scanで生成されたテクスチャデータが壊れた。そのため新しくテクスチャデータを作成し、UV展開図

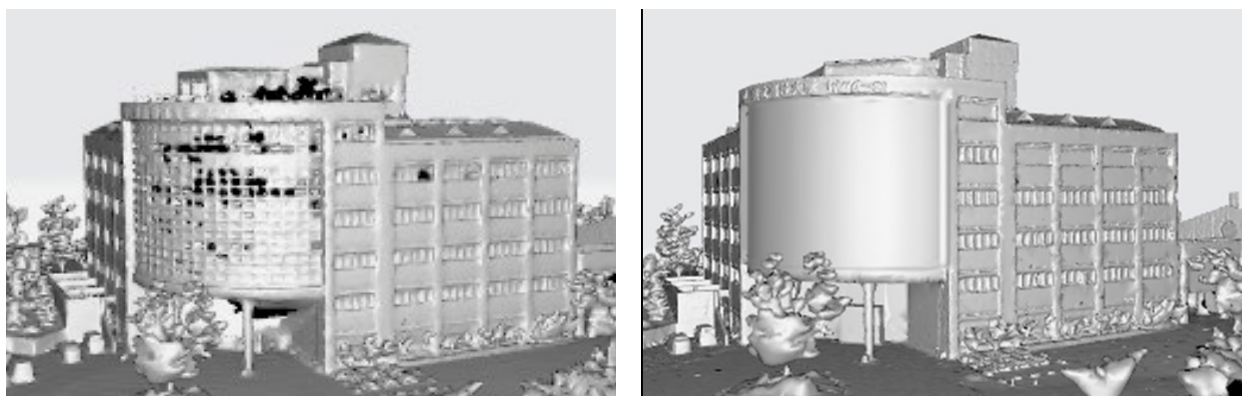


Fig. 5 Blenderにインポートしたもの（左：修正前、右：修正後）

として3DCGモデルに対応させた。

これらの作業を行うことで3DCGモデルをUnityへインポートすることができた。テクスチャデータに加え、Material機能により、鏡面や建物全体の色の設定を行うことで忠実に再現することができた(Fig. 6)。完成した3DCGモデルはFig. 7である。

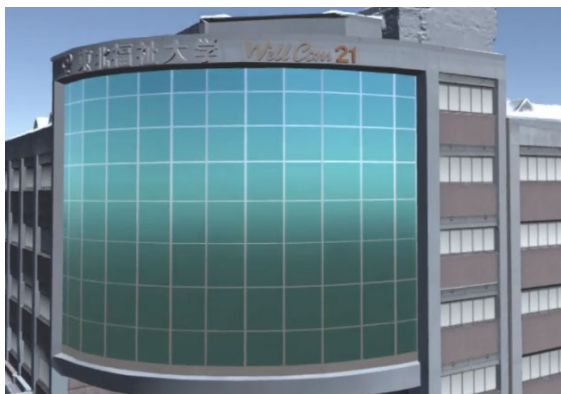


Fig. 6 鏡面箇所



Fig. 7 建物外観の完成図

3.2 教具や机の作成

建物内をウォークスルーするため、内部の作成も行った。まずは、建物内にある教具や机の作成を行った。ウェルコム21内にある机や黒板については、Blenderを用いて手作業で3DCGモデルの作成を行った。複雑な形状をしているものはBlenderで再現することは難しい。そこで、水治療法室にある浴槽はAutodesk社ReCap Photoを用いてモデリングした(Fig. 8)。事前検証の結果、ReCap Photoでも再現度が高い3DCGモデルを作成できることが分かった(資料1)。今回は水治療法室にある浴槽を100枚撮影し3DCGモデルを作成した。この3DCGモデルもFBX形式でエクスポートし、Blenderによる修正を行った。



Fig. 8 ReCap Photoで作成した浴槽(左:実物、中:上部、右:側面)

資料1 ReCap Photo による3 DCG モデル作成

検証では評価版の ReCap Photo を使用した。評価版ではモデルの作成に写真の必要枚数は最低20枚、最大100枚である。そのため、20枚から10枚ずつ写真の枚数を増やしながら、画像の枚数による3 DCG モデル再現度の差について検証を行った。検証方法の手順は以下の通りである。

- 1) 被写体は縦約40cm、横約45cm、高さ約85cmの椅子を使用する。被写体を中心として、放射状に撮影する。被写体からの距離は1mに統一する。
- 2) 初めに、90度おきに4地点で撮影する。なお、各地点では、地面から高さを20cmずつ上げ、5か所で1枚ずつ撮影する。
- 3) 次に、被写体正面から18度ずつ水平方向に移動して撮影する。この際、対角線にあたる地点でも同様に撮影する。
- 4) 最終的には20地点×5か所の計100枚までの検証を行う。

作成された3 DCG モデルの抜粋を以下に示す (Fig. 9)。



Fig. 9 枚数による比較

検証の結果、枚数や角度が増える事でオーバーラップ率が上がり、高精度で生成されている。枚数が少ないものは、余計な部分を点群データとしてしまうため、不完全な3 DCG モデルになってしまう事が明らかとなった。

3.3 フロア・建具の作成

建物内部のフロア再現のため、写真撮影、計測を行った。建物の一部分を実際に計測し、それに対応した校地・校舎配置図 (Fig. 10) を活用し、縮尺を計算した。その縮尺をもとにすべての階の床・天井・壁をBlenderでモデリングした (Fig. 11)。ドアや窓の切り抜きを行い、テクスチャを設定した。UnityへインポートしMaterialを使用することで壁などの質感の設定を行い、内部を再現した (Fig. 12)。また、建物内のガラスや配置物、床の一部は実際の写真を使用した (Fig. 13)。実際の写真を使用する場合、「UV/画像エディタ」からUV展開を行い、頂点を合わせていくことでテクスチャを設定する。作成したテクスチャよりも実際の写真を用いることで、より再現性の高いフロアとなった。作成したフロアに配置物や机を実際の建物同様に配置し、内部の再現を行った。

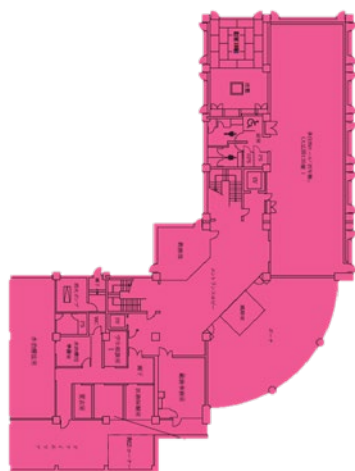


Fig. 10 フloor図



Fig. 11 作成した建物内フロア

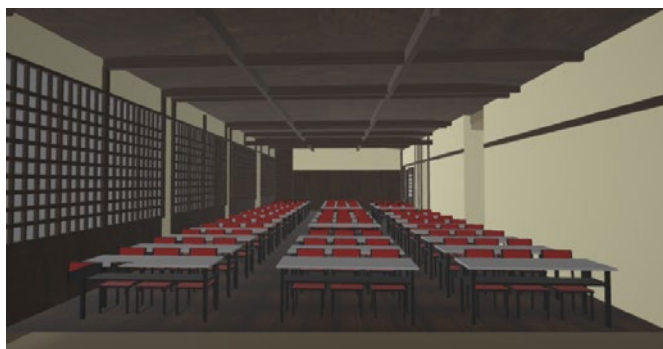


Fig. 12 テクスチャを貼り付けた教室

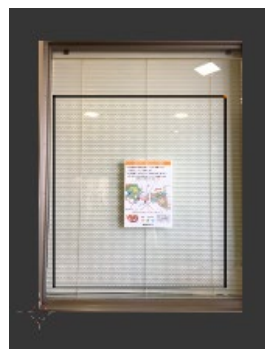


Fig. 13 写真を使用したテクスチャ

3.4 ライトの設定

Unityへインポートしたあとにライトの設定を行った。建物内の各部屋のライトを調節することで、ウォークスルーした際の違和感の軽減を行った。Unityではライトの向きや明るさを細かく調節することができる。各部屋に透明なオブジェクトを配置し、部屋の大きさに応じてライトの個数や向き、明るさを調節した (Fig. 14)。

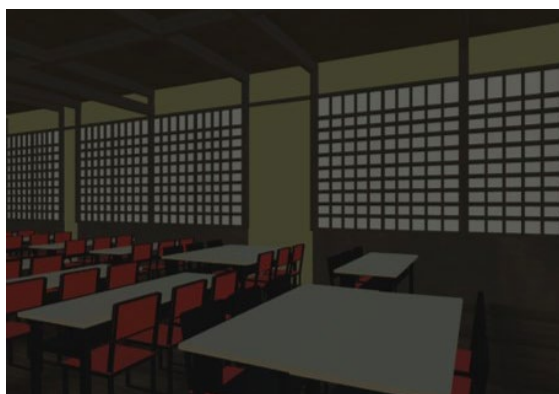


Fig. 14 ライトの設定 (左：設定前、右：設定後)

3.5 操作方法

作成した3DCGモデルをUnity上でウォークスルーできるようにするため、コードの作成を行った (Fig. 15)。提示方法として、HMDを装着しながら操作することも想定し、コンピュータから離れていても操作可能なXboxコントローラを採用している (Fig. 16)。各ボタンの操作の割り当てについてはTable 3に記載する。

```

36 float x = Input.GetAxis ("Horizontal") * m_sencitive; //X 方向の現在座標
37 float y = Input.GetAxis ("Vertical") * m_sencitive; //y 方向の現在座標
38 m_TiltAngle -= y * m_TurnSpeed; // 上下角制限
39 m_TiltAngle = Mathf.Clamp (m_TiltAngle, -m_TiltMin, m_TiltMax) ;
40 m_LookAngle += x * m_TurnSpeed; // 横方向の回転角
41 m_TransformTargetRot = Quaternion.Euler (0 f, m_LookAngle, 0 f) ;
42 m_PivotTargetRot = Quaternion.Euler (m_TiltAngle, m_PivotEulers.y, m_PivotEulers.z) ;
    //m_Pivot を X 軸回転させる
43 m_Pivot.localRotation = Quaternion.Slerp
    (m_Pivot.localRotation, m_PivotTargetRot, m_TurnSmoothing * Time.deltaTime) ;
    //m_TurnSmoothing 値に応じた速度で向ける
44 m_TFM.localRotation = Quaternion.Slerp
    (m_TFM.localRotation, m_TransformTargetRot, m_TurnSmoothing * Time.deltaTime)
    //m_TFM を Y 軸回転させる

```

Fig. 15 建物外をカメラ移動させるコード (一部抜粋)



Fig. 16 Xbox コントローラ

Table 3 コントローラのボタン配置

ボタン	ウェルコム屋外	ウェルコム屋内
①	建物の外部を回転移動する	移動
②	屋外・室内の画面切り替え選択	屋外・室内の画面切り替え
③	押されているときのみ移動可能	—
④	画面切り替え選択の決定	画面切り替え選択の決定
⑤	ズームアウト	—
⑥	ズームイン	—

建物外観と内部のフロアごとにシーンを作成し、コントローラを用いてシーン遷移ができるように設定を行った。Unity では、作成したシーンを呼び出すことで場面の切り替えを行っている。そのため、当たり判定を用いることでシーンの呼び出しを行った。当たり判定とは、オブジェクト同士が衝突した際に行う処理の事である。今回は、視点カメラとシーン遷移を行う箇所（ドアや階段）に当たり判定を設定している。当たり判定を設定するためには、シーン遷移を行う箇所に Cube オブジェクトを作成し、物理特性エンジンを可能とするための Rigidbody を追加する。Rigidbody を追加することで、Collider が入っているオブジェクトと衝突した際、当たり判定を得ることができる。これにより、当たり判定によるシーン遷移が可能となる。また、壁のすり抜けを防止することもできる (Fig. 17)。



Fig. 17 当たり判定 (左：設定前、右：設定後)

当たり判定を行う Cube オブジェクトには透明な Material を作成した。Material の Rendering mode を Fade に設定し、色を設定する RGBA の Alpha (透明度) を 0 に設定することで透明な Material の作成が可能である。シーンを切り替えるためのコードは Fig. 18に示す。また、シーンの遷移は Fig. 19の通りである。

```

4   using UnityEngine.SceneManagement; // シーンを切り替えるために必要なエンジン
5
6   public class naka : MonoBehaviour {
7       void OnCollisionEnter (Collision collision) {
8           if (collision.gameObject.tag == "Player") { //Player のタグに触れた時
9               SceneManager.LoadScene ("Rooms") ; // 1 階へ移動
13          }
14      }
15  }
```

Fig. 18 シーンを切り替えるためのコード (一部抜粋)

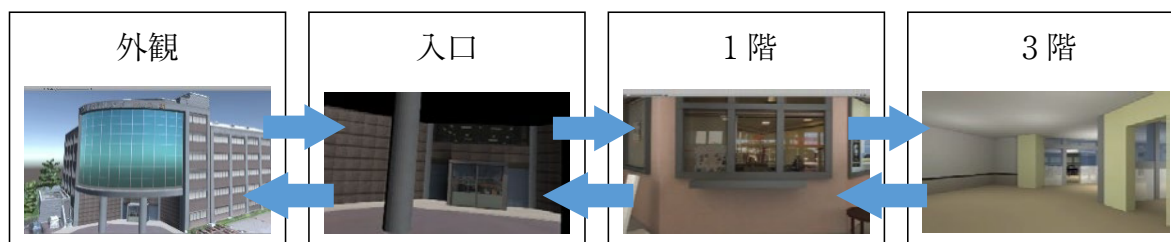


Fig. 19 シーン遷移

4. 考察

本報告では、ウェルコム21の外観と建物内部を3DCGモデルで再現した。建物外観の再現には、UAVで撮影した静止画（192枚）をもとに、フォトグラメトリ技術を用いて作成した。作成された3DCGモデルの大きさは28.7mであり、実際と比べると誤差約0.35%であった（Fig. 20、Fig. 21）。本研究で作成した3DCGモデルは、誤差も少なく実物に近いスケールでの再現ができた。建物内部は、ウォークスルーできるようになった。廊下や各部屋の明るさを調節し、実際の部屋と同じ箇所に配置物を設置している。そのため、階段やエレベーターの場所、距離、幅などを把握しやすいものとなった。また、屋内のガラス面や配置物の一部は、テクスチャの設定で写真を対応させたこともあり、リアルに再現することができた。しかし、手作業で作成したため、時間がかかってしまった。そのため、教具の一部である水治療法室の浴槽は、フォトグラメトリ技術を用いて3DCGモデルを作成した。

フォトグラメトリ技術は、事前検証の結果にもある通り、撮影の環境を整えることとExif情報を含めた画像があれば3DCGモデル化までは専門的な技術を必要としない。3DCGモデル作成の大きなハードルの一つがモデリングである。フォトグラメトリ技術を用いると、モデリングソフトを用いて一から3DCGモデルを作成する場合と比べ、短時間かつ正確に作成できる。しかし、大きな建物の作成ではポリゴン数が多くなることや、材質や明るさの影響から特徴点の抽出が難しく、手直しが必要である。

今後、撮影方法や適切な写真の枚数、解像度の高いカメラで撮影するなど、点群データの欠損などを少なくする方法を検討することで、フォトグラメトリ技術で様々なものを作成できるようになると考える。

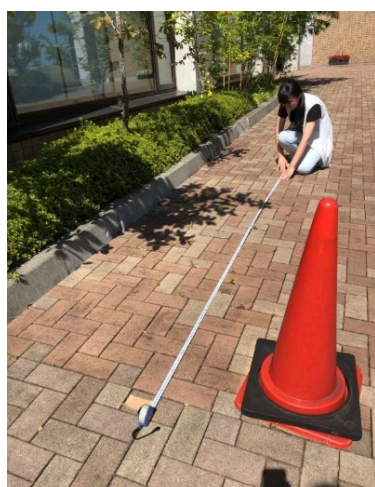


Fig. 20 実際に計測している様子



Fig. 21 3DCGモデル上の計測値

5. まとめ

本研究では、3D バリアフリーマップの実現に向けて、建築物の3DCGモデルの作成を行った。建物外観は、UAVで撮影した写真からフォトグラメトリ技術を用いて、再現度の高い3DCGモデルが作成された。また、建物内部は、Blenderでのモデリングとフォトグラメトリ技術によって再現を行った。縮尺を同じにすることや、適切な配置物の作成、色、明るさなどを考慮することでリアルに再現することができた。段差やエレベーターなどの情報を提示するとともに、ウォークスルーを行うことができるようになった。今後、勾配やスロープなど高齢者や障がい者に必要な情報をフォトグラメトリ技術で再現することで、建物内外のウォークスルーが可能になると考えられる。そのため、本研究で用いた技術を使用することで、3D バリアフリーマップの実現が可能となり、情報の提供に貢献できると考えられる。

謝辞

本研究は、東北福祉大学感性福祉研究所において、文部科学省の研究施設運営支援の助成を得て行われました。また、研究に協力して頂いた近藤夏希さん、滝澤奈々子さんに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 荒井雅代「車椅子ユーザーの交通に関する真に役立つバリアフリー情報」,『社会デザイン学会 学会誌』Vol. 10, 2018
- 2) Erina Yanagida, Yoko Usui, Katsumi Sato “Comparison of Video Images and VR Images for Effective Barrier-Free Map Creation”, *World Conference on Educational Media and Technology*, 2019
- 3) 渡邊圭, 庭野道夫, 山口政人, 鹿納晴尚, 高嶋礼詩「ドローンを用いた被災地域の三次元地形モデル作成の試み－崩落地域の地形を例に－」,『感性福祉研究所年報』第20号141-151, 2019.
- 4) 河野洋行, 松岡昌志, 牧紀男, 堀江啓「SfM-MVS技術を用いた空撮写真による3次元モデルからの地震建物被害の抽出」,『日本建築学会構造系論文集』第82巻 第735号, 2017
- 5) 山本恵久(2020年12月18日). 写真から3D空間を起こしてアーカイブや防災に展開, 旧都城市民会館の「保存」も. 日経クロステック, <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01457/102700005/>.
- 6) 中野一也(朝日航洋株式会社 商品企画部 G空間研究室).『第三回 SfMによる三次元形状復元ソフトウェアについて』,「写真測量とリモートセンシング」VOL 55, NO. 5. 2016
- 7) 藤吉弘亘「Gradient ベースの特徴抽出－SIFT と FOG－」,『情報処理学会研究報告』, CVIM-160, pp. 211-224, 2007
- 8) 加治佐剛, 鎌田侑成, 寺岡行雄 UAVを用いたSfMによる単木3Dモデリング－画像オーバーラップ率が3Dモデルの精度に与える影響－. 九州森林研究 NO. 70, 2017

研究ノート

ディープラーニングを用いた顔表情に対する 脳反応と性格特性指標との相関に関する研究

庭野賀津子、田邊素子、庭野道夫

東北福祉大学

要旨

言語獲得前の乳児の顔表情は感情や欲求の表出手段であり、養育者にとって養育行動を取る上での重要な情報源となる。しかし、笑顔や泣き顔などの顔表情を見たときに喚起される情緒的反応には個人差が認められ、様々な要因が脳内の活動に影響を与えていると考えられる。その個人差が生じる要因の一つとして、個人の性格特性がある。そこで本研究では、青年期成人を対象として、乳児及び成人の表情顔に対する脳反応を機能的近赤外線分光法（fNIRS）で測定し、ビッグ・ファイブの5次元性格特性との関連性をディープラーニング（深層学習）の手法を用いて検討した。前頭前野の脳賦活のパターンを入力信号、性格特性の各指標値を出力信号として、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）の手法で解析した結果、計測された脳賦活パターンから性格指標を20%以内の誤差で予測できることが分かった。また、予測精度はビッグ・ファイブの各次元によって異なり、各次元のスコアの標準誤差に依存した。この結果から、顔刺激に対する脳反応が個人の性格特性によって異なることが示唆された。今後、顔刺激以外の視覚刺激に対しても同様の実験を行い、脳賦活という生理的反応と性格特性という心理的要因の相関をディープラーニングの手法を用いてより詳細に明らかにしていく予定である。

キーワード：機能的近赤外線分光法（fNIRS）、ディープラーニング、顔表情認知、ビッグ・ファイブ、ニューラルネットワーク

1. 緒言

言語獲得前の乳児の顔表情は基本的な感情や欲求の表出手段であり、養育者にとって重要な情報源となる。乳児の笑顔は養育者に幸福感をもたらす愛着や養育行動を促進させる一方、乳児の泣き顔や泣き声等のネガティブな表情から否定的感情が惹起され育児不安やストレスにつながるケースもある。我々はこれまで育児経験の無い青年期成人が乳児の顔表情を見ている時の脳活動やその他の生理心理的反応について研究してきた。非侵襲的脳機能計測法である機能的近赤外線分光法（fNIRS）によって乳児顔表情認知時の脳反応を測定したところ、顔表情に対する脳反応には個人差が認められ、様々な要因がその個人差を生じさせていることが示唆された¹⁾。また、顔表情刺激に対する脳反応を、機能的核磁気共鳴画像法（fMRI）によって測定するとともに心理検査指標との相関を調べた結果、脳反応は個人の性格特性による影響を受けることが明らかとなった²⁾。さらに乳児の顔表情に対する脳反応をfMRIによって乳児の保育体験の前後に測定したところ、脳の賦活部位や強度が変化することが明らかとなり、顔表情に対する脳反応の仕方は育児経験の有無によって影響を受け、変化することが示唆された³⁾。そのため、乳児の顔表情への脳反応の個人差とその要因をさらに詳細に検討することにより、個人の特性に対応した親への育児支援や、産後うつ予防及び乳幼児への虐待防止のための基礎資料が得られると考える。

近年、脳の情報処理機構を解明する目的で機械学習を活用する研究が盛んになりつつある。機械学習の技法の進展を背景に、fNIRS のデータ解析に機械学習を適用する試みが増えてきている。例えば、fNIRS データを畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の手法で解析することで被験者の性別を分類することが試みられている⁴⁾。また、痛みのバイオマーカーの同定のために、fNIRS と機械学習を使用する試みもなされている⁵⁾。痛みは脳が感じるものであり、その痛みの度合いを定量化できれば、痛みの客観的な評価法の開発に貢献すると期待される。

そこで本研究では、顔表情に対する脳活動を fNIRS で測定した結果とビッグ・ファイブ性格特性との関連をディープラーニング (深層学習) の手法を用いて解析し、明らかにすることを目的とする。なお、fNIRS は fMRI と比較して、対象者の身体的拘束性が低く、座位や立位などの自然な姿勢のまま測定でき、測定場所も特別な検査室で実施する必要はないことから、対象者への精神的圧迫感や検査中の騒音、あるいは閉所恐怖症等によるデータへの影響を低く抑えることができる。また、本研究における我々の主たる関心領域は前頭前皮質である。そこで我々は本研究では、脳機能測定の方法として fNIRS を選択した。

2. 研究方法

2.1 研究対象者

対象者は、医療系学部に在籍する健常な大学生50名 (男女各25名、平均年齢 21.3 ± 0.7 歳) である。全員右利きで、裸眼視力もしくはメガネ等による矯正視力が両眼で0.7以上であった。対象者には、本研究内容について文書と口頭で十分な説明を行い、研究参加について書面にて同意を得た。本研究の実施に先立ち、東北福祉大学研究倫理委員会の審査・承認を受けた (承認番号: RS181101)。

2.2 性格検査

各対象者の心理的評価のために、NEO-PI-R の日本語版を用いた。NEO-PI-R は質問項目が全240問からなる、ビッグ・ファイブ人格5因子モデルに基づく質問紙法の人格テストで、個人の性格特性を、開放性 (O: Openness)、誠実性 (C: Conscientiousness)、外向性 (E: Extraversion)、調和性 (A: Agreeableness)、神経症傾向 (N: Neuroticism) の5つの次元でとらえるものである。この5因子モデルにおいては人格を表す用語には5因子が見られるとしており、その5因子は人格構造において普遍的なものとして、性格特性を測定するために世界的に広く使用されている⁶⁾。質問紙の各項目は、「そう思わない」と「そう思う」を両端とする5段階のリッカート尺度に基づいて評価され、5つの次元ごとにスコアが算出される。

NEO-PI-R の開発者である Costa ら⁷⁾ 及び日本語版の開発者の下仲ら⁸⁾ によると、5次元の基本的定義は以下の通りである。

- (1) 神経症傾向 (N) : 精神科の臨床においてもっとも馴染みのある特性であり、この N 得点が高いと、恐怖、悲しみ、情緒的不安定の傾向が強い。心理的ストレスを受けやすく、不安症や統合失調症のボーダーラインとの強い関連性が示唆される。また、この N 得点が低いと、精神的に安定していると言える。
- (2) 外向性 (E) : E 得点が高いと、社交的で上昇志向であり、活動的である。E 得点が低いと内向的と言えるが、外向的の対極ということではなく外向性が欠如しており控えめで依存心が高いとされている。
- (3) 開放性 (O) : O 得点が高いと、開放性が高く、芸術に対してより想像力があり、知的好奇心が強く、行動に柔軟性がある。O 得点が低いと、保守的で外見も控えめであり、情動的反応も乏しいとされている。

- (4) 調和性 (A) : A 得点が高いと、調和性があり、同情的で、社会的にも好ましいとされる一方、極端に高いと心理的健康度からみて好ましくない。A 得点が低いと冷淡で、自分の信念を貫き、敵対的である。
- (5) 誠実性 (C) : C 得点が高いと、目的を持ち、意志が強く、学業や職業の達成に向けてがんばるというポジティブな面と、気難しさやワーカホリックにつながるというネガティブな面を持ち合わせている。C 得点が低いと、目標に向かってがんばるひたむきに欠け、快楽主義であるとされる。

2. 3 顔表情認知課題と実験手順

顔表情認知課題（タスク）における刺激呈示は、Platform of Stimuli and Tasks（日立製作所中央研究所開発ソフトウェア）を用いた。刺激に用いた画像は、乳児（Infant）と成人（Adult）それぞれ、①笑い顔または喜び顔（以下、happy）、②泣き顔または悲しみ顔（以下、sad）、③快・不快の不明確な曖昧顔または中性顔（以下、neutral）の3種類の顔表情を正面から撮影した静止画である。乳児画像は、我々の過去の研究で使用した顔画像セット³⁾の4名（男女各2名）の乳児画像を用いた。一方、成人画像は、Fujimura et al. の顔表情データベース⁹⁾より4名（男女各2名）の顔画像を選び、使用した。これら、乳児と成人それぞれ、4名×3表情の写真を呈示刺激とした。

脳機能計測はブロックデザインで行った。課題（タスク）はFig. 1に示す通り、レスト課題（黒地に白字の十字の固視点を提示）を20秒間、ターゲット課題（顔表情刺激）を12秒間、交互に3回ずつ呈示した。脳機能計測は、一人の対象者につき、乳児顔、成人顔、それぞれ顔表情3種類、計6回の計測を行った。対象者ごとに刺激画像呈示の順番のカウンターバランスをとった。脳機能計測の所要時間は一人当たり約30分であった。（なお、本稿の紙媒体はモノクロ印刷であるため色の違いが判別しにくいだが、電子版はカラーとなっているため、本稿の図は電子版を参照されたい。Fig. 1以降の図も同様である。）

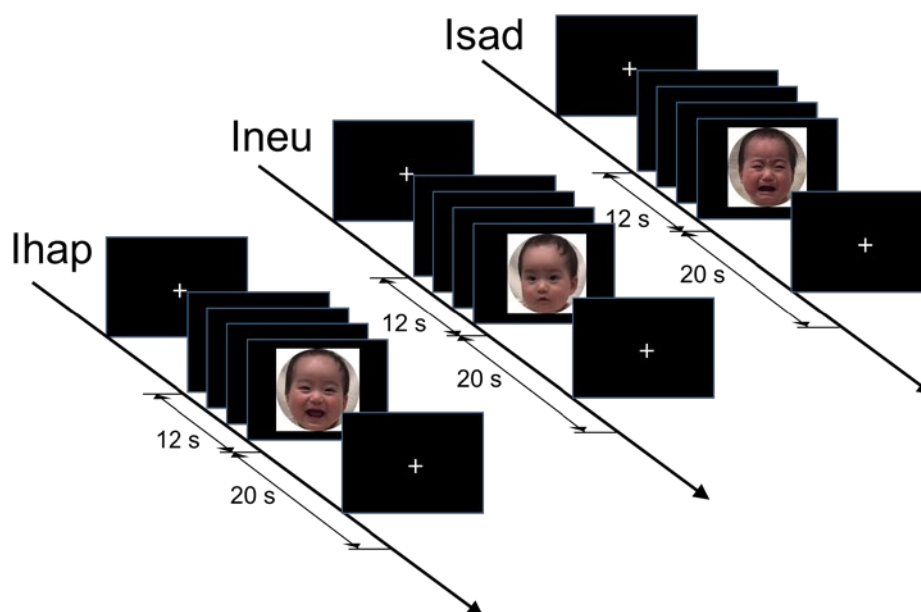


Fig. 1 顔表情呈示課題と計測デザイン

注) 図は幼児の3種類の表情呈示課題 (lhap, lneu, lsad) の例を示している。レスト課題（黒字に十字の固視点を提示）を20秒間、ターゲット課題（顔表情刺激）を12秒間とし、交互に3回呈示するブロック・デザインとした。

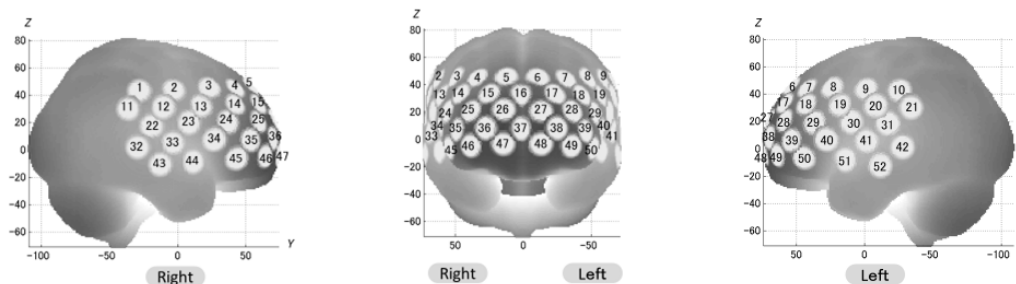


Fig. 2 NIRS 計測位置 (52チャンネルの配置)
注) 左の図が右半球、中央の図が正面、右の図が左半球

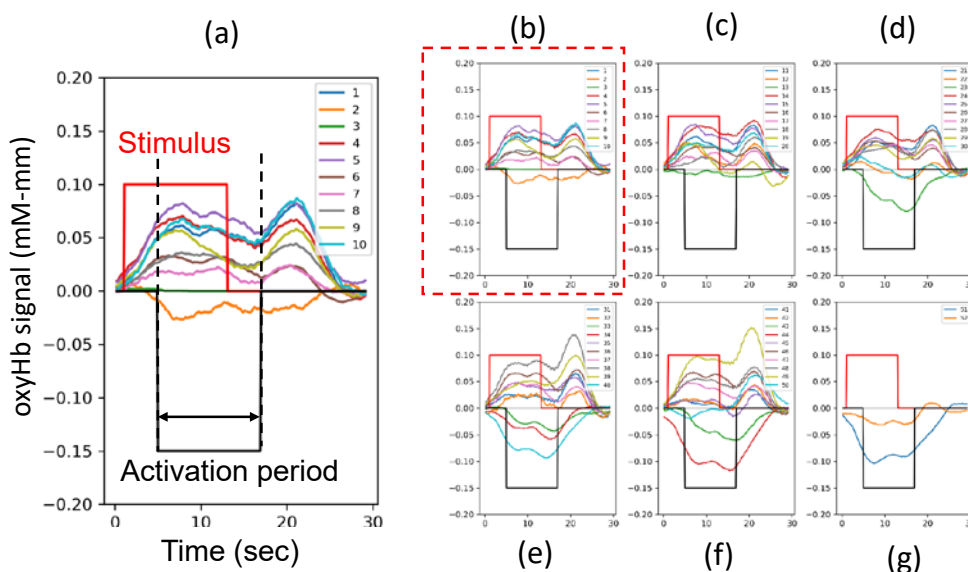


Fig. 3 fNIRS 装置によって計測した酸素化ヘモグロビン濃度の時間変化の例

注) 各グラフ中の赤の実線の枠は顔表情の提示時間窓を表す。一方、黒の破線及び実践の枠は解析対象とした時間窓を表す。(a) は (b) の拡大図。(b) ~ (g) はそれぞれ、fNIRS の測定チャンネルごとの測定値を示している。グラフ内右上の数値はチャンネル番号。

2. 4 fNIRS 計測

脳機能計測は、静寂な実験室において行われた。対象者は背もたれの高い椅子に寄りかかる安定した座位姿勢で、1.5m 前方にある刺激提示用モニター(画面サイズ21インチ)を注視するよう指示された。計測は、多チャンネル fNIRS 装置 (ETG-4000、日立メディコ) を使用し、52チャンネルホルダーを前頭部から両側頭部にかけて装着した。52のチャンネルの配置を Fig. 2 に示す。最下列のプロープを国際10-20法の Fp1-Fp2 ラインとなるよう配置した。本研究における大脳皮質の解剖学的な部位とチャンネル位置の対応は先行研究の¹⁰⁾ のバーチャルレジストレーションの結果に準じた。

我々の用いた fNIRS 装置では、2 種類の短波長 (695nm, 830nm) の近赤外光により、脳表層の酸素化ヘモグロビン濃度変化 (oxyHb)、脱酸素化ヘモグロビン濃度変化 (deoxyHb)、総ヘモグロビン濃度変化 (totalHb) を計測できる。脳の局所的な神経活動が増加すると血管が拡張して動脈の血流量が増加し、oxyHb 濃度が増大する。そのため、oxyHb 濃度変化が最も敏感に神経活動を反映すると考えられることから、本研究では oxyHb 濃度変化を脳機能計測の指標とし、後述の方法で酸素化ヘモグロビン濃度変化量の加算平均処理を行った。

2. 5 脳機能計測のデータ解析

各課題に対する個人の脳活性化を評価するために、各課題条件の oxyHb 濃度の変化を fNIRS 計測装置により計測した。刺激呈示の12秒間のうち、ニューロン活動に対する血行動態反応の遅れを考慮して、課題開始後5秒後から課題終了5秒後までの12秒の区間を「時間窓」として解析対象とした。Fig. 3に示すように、この時間窓には、課題ブロック中の oxyHb 濃度変化量増加のピークが含まれていた。解析対象の時間窓における12秒間の oxyHb 濃度変化量の積分値 (Δ oxyHb) を算出した。

その後の統計分析では、課題条件間のチャンネルごとの Δ oxyHb の違いを評価した。チャンネルごとの賦活の例を Fig. 4に示す。そして、性格と脳の賦活および賦活部位との関係を分析するために、性格検査スコアとチャンネルごとの Δ oxyHb の間の相関係数を算出した。さらに、脳部位ごとの機能と性格との相関を明らかにするために、52チャンネルを先行研究に準じて脳解剖学上の部位に分類し^{10),11)}、それぞれの脳部位ごとの Δ oxyHb の平均と性格検査結果との相関も求めた。

2. 6 ディープラーニングによるデータ解析

2. 6. 1 ネットワーク構造モデル

本研究で用いたネットワーク構造モデルは「5層ニューラルネットワーク (5-layer neural network, 「5-LNN」と略す)」、「VGG19」、「ResNet」の3種類である。5-LNNは5層の中間層を持つ一般的なネットワークであり、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の手法を用いていない。この後述べる CNN の手法を用いた残り2種類のネットワーク構造との比較のために採用した。VGG19は、画像認識のために開発されたネットワークで¹²⁾、ネットワークを発表した研究グループ名 (Visual Geometry Group, Department of Engineering Science, University of Oxford) が名前の由来である。畳み込み層と全結合層を連結しシンプルに層を増やしたネットワーク構造で、使い勝手がよく、画像認識に幅広く用いられるようになっている。層数については、11、13、16、19層などいくつかのバリエーションがあるが、本研究では19層のネットワーク (VGG19) を採用した。後述するように、VGG19はオックスフォード大学の K. Simonyan らによって提唱された16層の畳み込み層と5層の Max Pooling 層、そして、3層の全結合層からなるネットワーク構造である¹²⁾。

Residual Network (ResNet) は、残差を用いたネットワークモデルである。この手法に関する論文は2016年に発表され¹³⁾、コンピューター科学分野において最近の引用回数が上位にランクされている。この論文は、深層学習 (ディープラーニング) に使われる畳み込みニューラルネットワークにおいて、「ResNet (Residual Network)」と呼ぶ新しいモデルを考案し、画像分類の性能の飛躍的な向上を実現した。画像分類問題において、ネットワークの層の深さは重要であり、深いほど精度向上すると考えられているが、より深いネットワークを学習させようとする、精度が劣化する。ResNet では、このような深いネットワークにおいて発生する精度劣化の問題を解決した。後述するように、いくつかの積み重ねられた層 (ブロック) が、直接最適な写像 (変換) になるよう学習するのではなく、残差の写像が最適になるよう学習する構造になっている。

2. 6. 2 学習方法

合計データ数は50 (男性: 25、女性: 25)、説明変数は6種類の顔表情に対する52チャンネルの脳活性化値であり、6種類の顔表情刺激からの取得データを1つの説明変数とした。5-LNN においては312 (52x6) 次元ベクトル、VGG19と ResNet においては、5x11の画像にするために3つの0セル (ダミーセル) を加え、5x11x6の画像を説明変数とした。また、目的変数は NEO 5因子 (N, E, O, A, C) のスコア (心理指標値) とした。

このデータを訓練用データ：40（男性：20、女性：20）と評価用データ：10（男性：5、女性：5）にランダムに分割し、訓練用データで学習を実施し、評価用データでモデルの予測性能を評価した。なお、学習時のロス関数は、本タスクが回帰であるため、以下で与えられる平均二乗誤差（Mean Squared Error: MSE）を用いた。

$$\text{MSE} = \frac{1}{40} \sum_i \sum_{j \in \text{N,E,O,A,C}} \frac{(y_{ij} - t_{ij})^2}{2}$$

ここで、 y_{ij} はモデルに説明変数を入力した際に得られる予測値、 t_{ij} はその説明変数に対する正解値である。なお、一般的に、学習時、入力される説明変数の順番の影響を抑えるためと、学習速度の向上を目的に64や128、256といったデータ数程度でバッチ化を行うが、ここでは、学習データ数の40をバッチサイズとした。そのため、上式において MSE の算出は40の除算を行っており、また、epoch 数と学習回数が一致する。

最適化（オプティマイザー）には Adaptive moment estimation を用い、学習回数は10,000 epochs とし、学習が安定化し、収束を良くするために、学習率は学習開始時に0.001からスタートし、学習終了の10,000 epoch において 0 となるよう、

$$\text{lr} = 0.001 \times \frac{10,000 - \text{学習回数}}{10,000}$$

の式で割り引いている。

2.6.3 モデル評価方法

本稿では、後述する3つのモデルの性能を比較するために、合計50のデータに対して、訓練用データ（40）と訓練データ（10）の組み合わせを変更して、10,000 epochs の学習を20回実施し、各学習に対して、評価データに対する平均絶対値誤差（Mean Absolute Error: MAE）の記述統計情報（平均値、標準偏差、最小値、25% タイル、50% タイル（中央値）、75% タイル、最大値）を算出した。なお、20種類の訓練用データと評価用データの組み合わせは、乱数シードを固定することで、3つのモデルで統一し、N, E, O, A, C の各項目において、MAE の値が25% タイル -1.5 ×（75% タイル -25% タイル）よりも少ないもの、および、75% タイル +1.5 ×（75% タイル -25% タイル）よりも大きいものは外れ値として除外した。

3. 結果と考察

3.1 性格検査

NEO-PI-R の結果に基づく、対象者の5次元の性格特性のスコアの基本統計量を Table 1 に示す。各スコアは40から160の範囲に分布していた。また各スコアの平均値及び標準偏差は、日本人大学生の標準的標本⁸⁾ から得られたものと近似していた。

3.2 脳賦活のタスク依存性

NIRS 計測した52チャンネルの各チャンネルの活性化値（脳血流量の平均値）のタスク依存性を対象者ごとに調べた。乳児の3種類の顔表情に対する対象者（女性）の活性化値の分布（活性化マップ）の一例を Fig. 4 に示す。図中の番号はチャンネル番号、図の左側が右脳、右側が左脳である。図で色の濃いチャンネル（脳部位）は活性化値が高いところである。図から分かるように、明らかに顔表情によって脳活性の反応が異なることが分かる。各対象者について、Fig. 4 に示すような活性化マップ（賦活イメージ）が、先に述べ

Table 1 NEO-PI-R の結果の基本統計量

Factors	Mean	S.D.	Range
Neuroticism (N)	111.8	23.0	54-165
Extraversion (E)	107.0	18.8	74-150
Openness (O)	113.4	16.0	79-159
Agreeableness (A)	113.2	16.2	76-155
Conscientiousness (C)	98.7	22.5	41-143

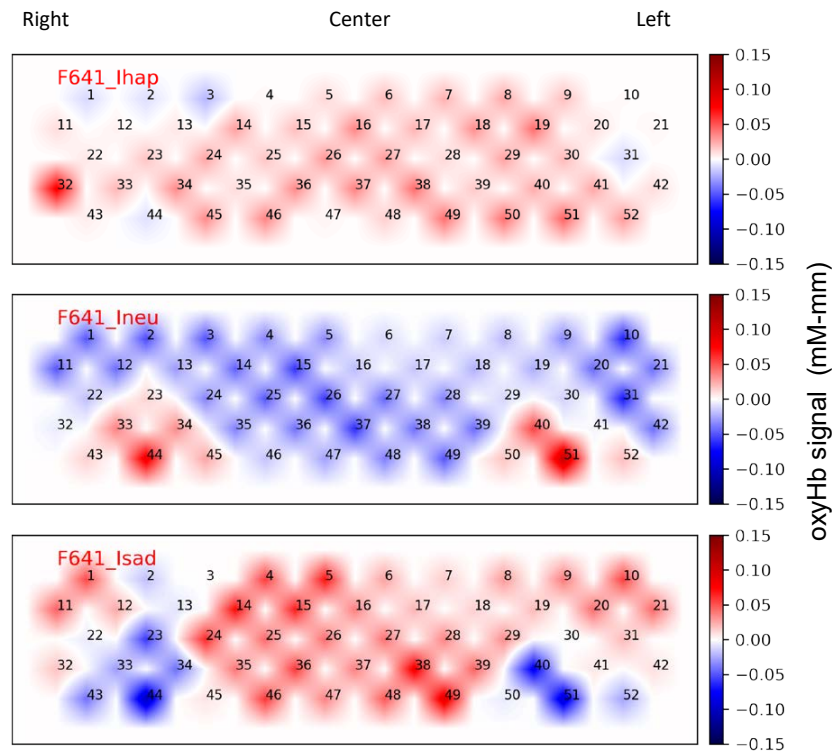


Fig. 4 刺激画像を見ているときの脳の賦活の例

注) 上から乳児の happy, neutral, sad の表情を見ている時の脳の賦活。図中の数値はチャンネル番号。
各チャンネルの色及び濃淡は右のインディケーターに対応した oxyHb 濃度。

たディープラーニングにおける説明変数となる。

Fig. 5 には対象者50名すべての平均をとった活性化マップを示す。左側が女性の結果、右側が男性の結果、そして中央が両者の平均である。この図からも、顔表情によって特異的に賦活する領域があることが分かる。特に注目すべきは、happy と sad の表情に対する脳賦活の度合いが、曖昧表情に比べて大きくなっていることである。また、happy 表情に対しては側頭部が、sad 表情に対しては中央部がより賦活している。さらに、幼児の sad 表情に対して、女性の方が男性より賦活の度合いが大きくなっていることも注目値する。対象者は育児未経験の男女であるが、育児経験が無くとも母性に関わる脳部位の活動がこのような活性化の違いをもたらしているとも考えられる。今後、脳賦活のタスク依存性の要因について、脳機能との関連でさらに詳しく追及していく予定である。

3. 3 ディープラーニング解析結果

先に説明した、5-LNN、VGG19、ResNet の3種類のネットワーク構造のモデルについて、学習と評価データの組み合わせを変えて20回学習を行って得られた予測値の MAE と、それらから推察される予測結果の傾向について以下に述べる。

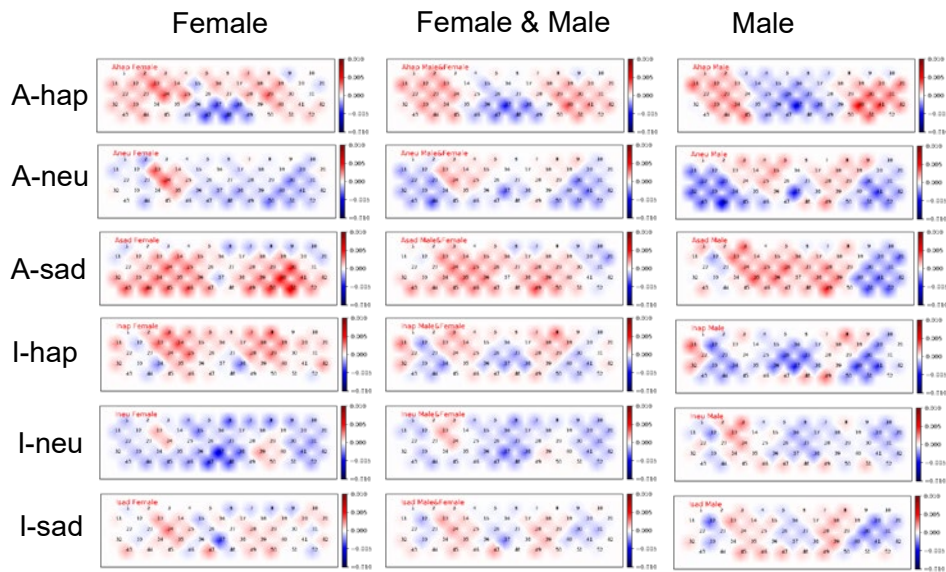


Fig. 5 対象者すべての脳賦活の平均の活性化マップ

注) 各グラフ縦軸は oxyHb 濃度の計測値 (mM-mm)。グラフ内の数値は測定チャンネルの番号。

A-happy の A は成人、I-happy の I は乳児、hap (happy), neu (neutral), sad はそれぞれ表情の種類。

Female は女性対象者のデータ、Male は男性対象者のデータ。

3.3.1 5-LNN (5層ニューラルネットワーク)

このネットワーク構造の模式図は Fig. 6 の通りである。まず、入力層は6種類の顔表情刺激に対する脳賦活マップの結果を並べ、312 (52 x 6) 次元のベクトルの入力層 (Input layer) とし、その後、隠れ層 (Hidden layers) として、1024、512、256、128、64の5つの全結合層を重ね、最後に出力層 (Output layer) において、心理指標の5要素を予測値として出力した。なお、活性化関数には、深層学習で多用される Relu 関数を用いた。

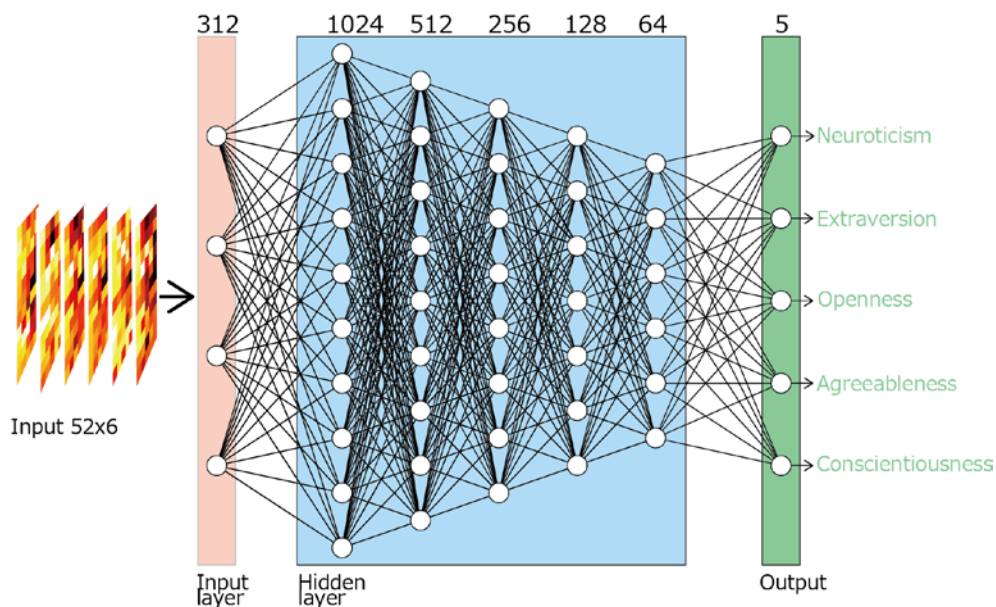


Fig. 6 5層ニューラルネットワーク構造モデルの概念図

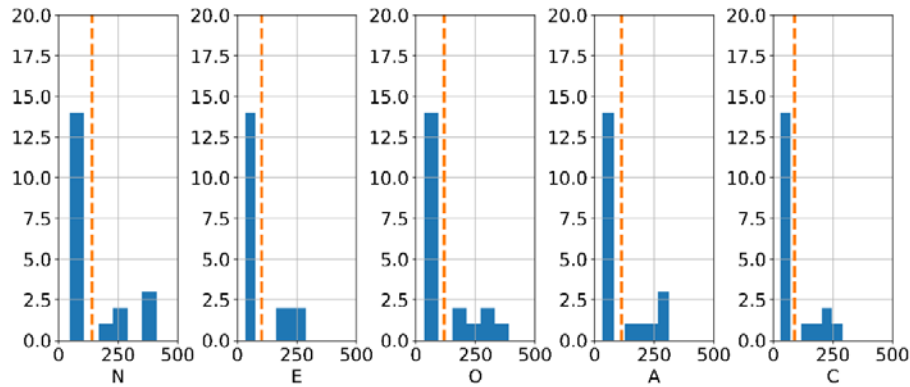


Fig. 7 5層ニューラルネットワーク構造モデルの平均絶対値誤差の度数分布
 注) NEO-PI-Rの5次元の性格特性ごとの平均絶対値誤差 (MAE) の度数。各グラフの横軸は MAE、縦軸は度数を示す。

Table 2 平均絶対値誤差 (5-LNN) の記述統計量

	N	E	O	A	C
mean	127.25	94.28	108.51	102.93	89.78
std	117.58	81	108.14	93.68	82.35
min	46.9	33.9	36.1	34.1	29.8
25%	58.55	45.3	46.85	45.7	39.05
50%	66.2	52.8	56.2	56.7	47.4
75%	151.25	122.3	128.9	119.8	105.7
max	411	289.5	390.3	312.9	289.5

Fig. 7は、5層ニューラルネットワーク構造のモデルにおいて、20種類の訓練データと評価データの組み合わせで、20回の学習を行い、評価データに対して得られたMAEの度数分布（ヒストグラム）である。すなわち、横軸がMAE、縦軸が度数である。また、縦の直線はMAEの平均値である。MAEの平均値が100前後であり、このネットワーク構造では殆ど予測できていない。Table 2に示す平均絶対値誤差の記述統計量の表も、標準偏差が100前後であり、単純な多層ネットワークでは予測できないことを示している。

3.3.2 VGG19

Fig. 8にオックスフォード大学のK. Shimonyanら¹²⁾によって提唱された16層の畳み込み層と5層のMax Pooling層、そして、3層の全結合層からなるネットワーク構造VGG19を示す（19の由来は、畳み込み層と全結合層の層数の合計に由来する。）。ここで、畳み込み層とは、イメージに対して、フィルタ、または、カーネルと呼ばれる重みパラメータを有した領域をスライドさせながら作用させていき、イメージの特徴を取得するための層を指す。この畳み込み層はイメージを入力にして、イメージを出力とする層であるため、入力は正方形、または、長方形の配列である必要があり、イメージをイメージのまま扱う点の特徴である。しかし、本研究で対象としたfNIRS活性化マップの賦活イメージは、Fig. 4に示すように、[10列, 11列, 10列, 11列, 10列]の配列構造であるため、1行目と3行目、5行目それぞれに0を要素として加え、5行×11列の配列にした。さらに、6種類の表情に対してそれぞれ1枚のイメージを作成し、入力は5行×11列×6枚のイメージとした。本稿では、全てのフィルタサイズを3×3とし、ストライドは1（NIRSのチャネル1個に相当）とした。畳み込み層においては、1フィルタに対して1イメージを出力するので、64フィルタを用いると、64のイメージを出力することになる。Pooling層も畳み込み層と同様にフィルタを有するが、Pooling層のフィルタは重みパラメータを有さず、領域内の最大値（Max

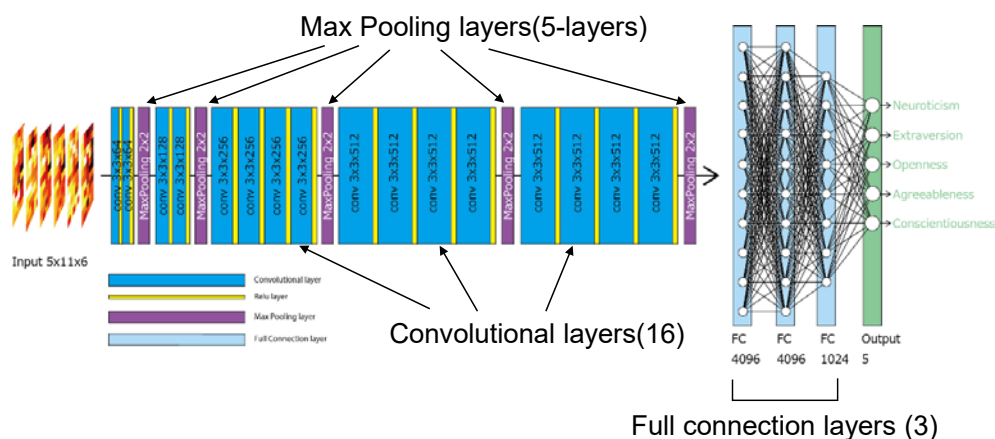


Fig. 8 VGG19構造モデルの概念図

Pooling) や、領域内の平均 (Average Pooling) を 1 要素にマッピングしてイメージを出力する。本稿では Pooling 層においては、 2×2 のフィルタをストライド 1 で用いた。

VGG19では、最後の Max Pooling 層の後には、入力イメージの特徴を反映していると期待される512のイメージが出力され、その512のイメージを通常のニューラルネットワークの入力イメージと同様に扱って、出力を得る。したがって、最後の3層の全結合層部分は一般的なニューラルネットワーク構造と同じであるため、VGG19のようなネットワークは畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional neural network, CNN) と呼ばれることがある。このモデル構造の長所は、フィルタを用いることで、イメージ内の特徴のズレに対して堅牢である点である。

5層ニューラルネットワーク構造のモデルの場合と同様に、VGG19モデルの場合も20種類の訓練データと評価データの組み合わせで、20回の学習を行い、評価データに対して MAE を求めた。その結果を Fig. 9 のヒストグラムと、Table 3 の平均絶対値誤差の記述統計量の表に示す。ヒストグラムの図中の縦線は MAE の平均値である。MAE の平均値は、5-LNN に比べて明らかに小さく、おおよそ5分の1程度まで小さくなっている。VGG19が可成りの精度で心理検査指標を予測していることがわかる。さらに、Table 1 に示した性格指標値の標準誤差と比べるとそれぞれの性格因子の MAE は同程度になっている。これらの結果は、ディープラーニングによる予測がかなり精度よく行われたことを示唆している。N と C の性格検査指標値の標準偏差が他の因子の標準偏差より大きくなっているが、この傾向が MAE の値において再現されていることは注目すべき点である。今回の研究において、6表情に対する52チャンネルの脳賦活量を入力データとして用いたことがこのような精度の良い予測につながったと言える。逆に、異なる顔表情に対する脳賦活が性格を反映していると言える。すなわち、性格により前頭前野の脳賦活の仕方が異なることを示唆している。

3.3.3 ResNet

ResNet はマイクロソフト社の K. He らによって提唱されたモデルで、VGG19などの畳み込みニューラルネットワークモデルと同様に、畳み込み層、Pooling 層、全結合層からなるが、残差ブロック (Residual Block) と呼ばれるブロックを有するのが大きな特徴である。Fig. 10に本研究で用いた ResNet のネットワーク構造を示す。Residual Block の概要は図中の赤線枠内に示した通りで、畳み込み層によってイメージの特徴を抽出した後に、元のイメージを加える仕組みになっている。この様に、抽出された特徴にもとのイメージを加えることで、層を多数積んだ際に問題となる逆伝搬時のロスの消失を防ぐことが可能となる。本研究の ResNet モデルは、フィルタ数を変えながら、フィルタ数64、128、256の Residual Block を、

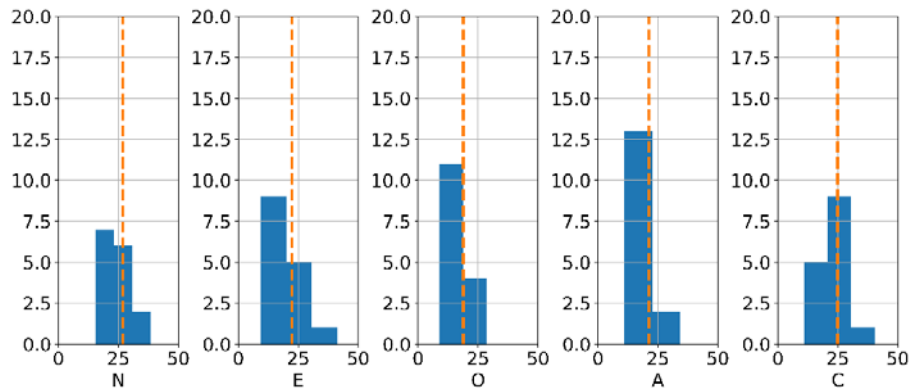


Fig. 9 VGG19構造モデルの平均絶対値誤差の度数分布

注) NEO-PI-Rの5次元の性格特性ごとの平均絶対値誤差 (MAE) の度数。各グラフの横軸は MAE、縦軸は度数を示す。

Table 3 平均絶対値誤差 (VGG19) の記述統計量

	N	E	O	A	C
mean	25.64	18.5	18.19	19.6	24.32
std	5.87	3.17	4.69	5.04	4.87
min	15.4	12.9	10.5	13.7	17
25%	22.28	16.47	15.65	15.07	19.77
50%	25.1	19.6	16.55	19	25.05
75%	27.65	20.85	21.1	23.42	27.23
max	37.2	23.2	29.6	31.6	34.5

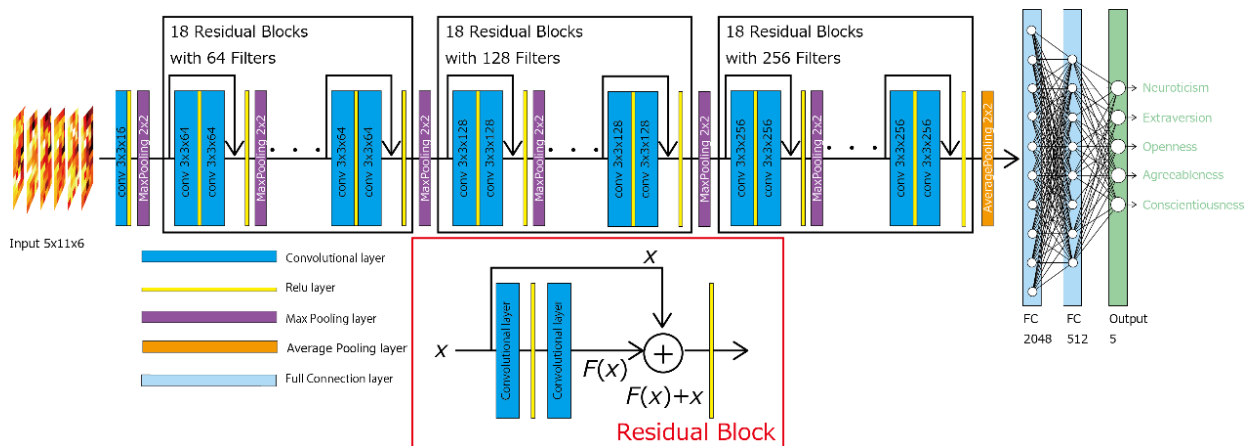


Fig. 10 ResNet 構造モデルの概念図

それぞれ18 Blocks ずつ積んでいる。1 Block は2層の畳み込み層を有するので、108層の畳み込み層と2層の全結合層で合計110層と、非常に深いネットワーク構造を有している。

上述の2種類のネットワーク構造モデルの場合と同様に、20種類の訓練データと評価データの組み合わせで、20回の学習を行い、評価データに対して求めたMAEをFig. 11とTable 4に示す。結果は、VGG19とほとんど同じであり、特に著しく予測の精度が向上していない。この結果は、モデルそのものが不十分というより、Table 1に示したように、そもそもの性格検査指標のスコアにばらつきがあること原因していると考えられる。しかし、MAEの値を注意深く見ると、Table 1で示した各因子の標準偏差

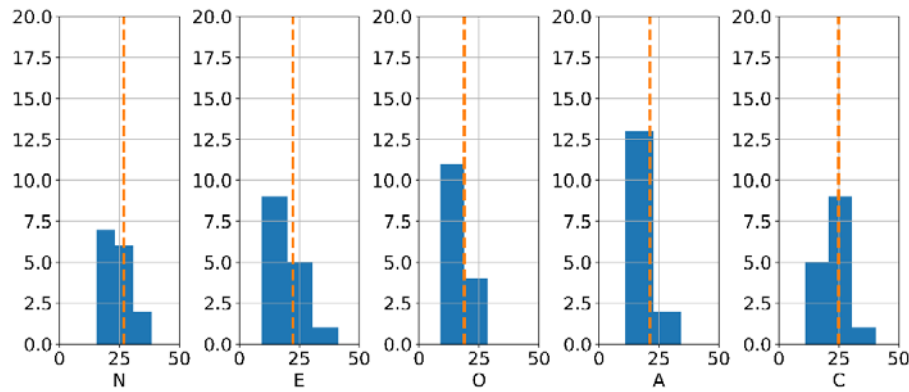


Fig. 11 ResNet 構造モデルの平均絶対値誤差の度数分布

注) NEO-PI-R の 5 次元の性格特性ごとの平均絶対値誤差 (MAE) の度数。各グラフの横軸は MAE、縦軸は度数を示す。

Table 4 平均絶対値誤差 (ResNet) の記述統計量

	N	E	O	A	C
mean	24.53	19.01	15.57	17.25	21.87
std	6.11	5.89	5.06	6.08	6.33
min	15.4	9.3	8.9	11	11
25%	20	15.55	12.45	14.25	17.65
50%	23.5	17.8	14.1	16	20.9
75%	28.75	21.15	17.7	17.8	24.2
max	37.4	34.3	27.6	33.9	36.6

の値により近づいていることがわかる。ResNet は画像分類の性能の飛躍的な向上を実現したモデルであり、本研究で得られた結果は、このネットワーク構造モデルの性能の高さを示している。

4. 今後の展開

本研究では、顔刺激に対する脳反応を fNIRS で測定した結果と性格特性指標値との相関をディープラーニング (深層学習) の手法を用いて明らかにした。ディープラーニングで用いた入力データは脳賦活パターンであった。今後、脳賦活のパターンから脳賦活のネットワーク構造を導き出し、そのネットワークのパターンを入力データ (説明変数) として学習させ、性格特性指標を予測する試みを行いたいと考えている。以下に、現在進めている研究を簡単に紹介する。

脳血流量は顔表情を提示すると、Fig. 3 に示すような時間変化 (タイムコース) を示す。それぞれのチャンネルの時間変化は、似ているものと似ていないものがあり、似ているものは同期していると見なし、互いに連動していると考え。そこで、52 個のチャンネル同士の相関を調べる。それらの中から相関係数の大きいものを取り出すと、各チャンネルがどのように連動しているか (繋がっているか) がわかる。こうして相関の強いものだけを取り出して、繋がっているところは 1、それ以外は 0 とした行列で表す。この行列は隣接行列 (adjacency matrix) と呼ばれる。Fig. 12 はある対象者に対して 6 種類の顔表情を呈示した時の脳賦活から求めた 52 行 52 列の隣接行列である。白い点が 1、黒い点が 0 である。隣接行列に基づいてチャンネル同士の連結をネットワーク構造として表したものが Fig. 13 である。顔表情によって隣接行列のパターンやネットワーク構造が大きく異なっていることがわかる。そこで、隣接行列のパターンを一つの画像と考え、この画像を入力データとしてディープラーニングを行えば、性格との相関を明らかにできるはずである。さらに、隣接行列から容易にネットワークの特徴量であるクラスタリング係数や平均パ

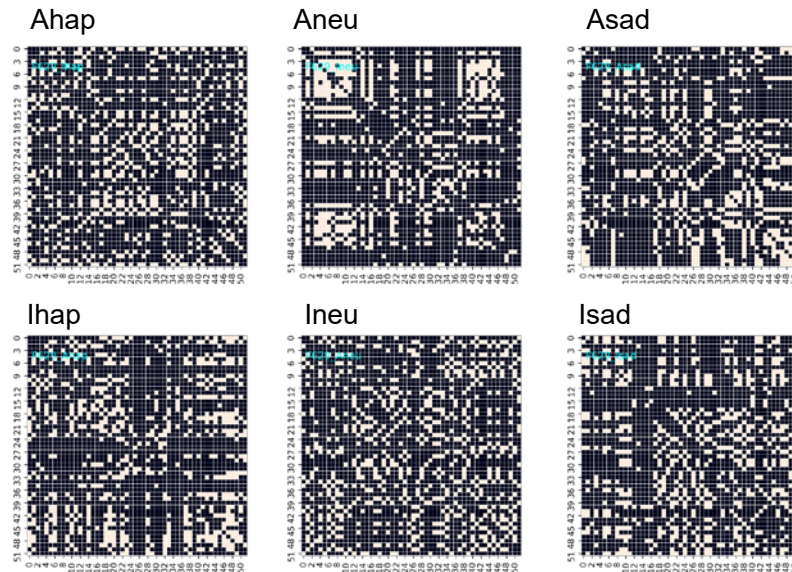


Fig. 12 6種類の顔表情呈示課題に対する脳賦活の状態を表す隣接行列 (adjacency matrix)
 注) 52行 x52列の正方行列で左上から右下に向けた対角線に対して左右対称になっている。

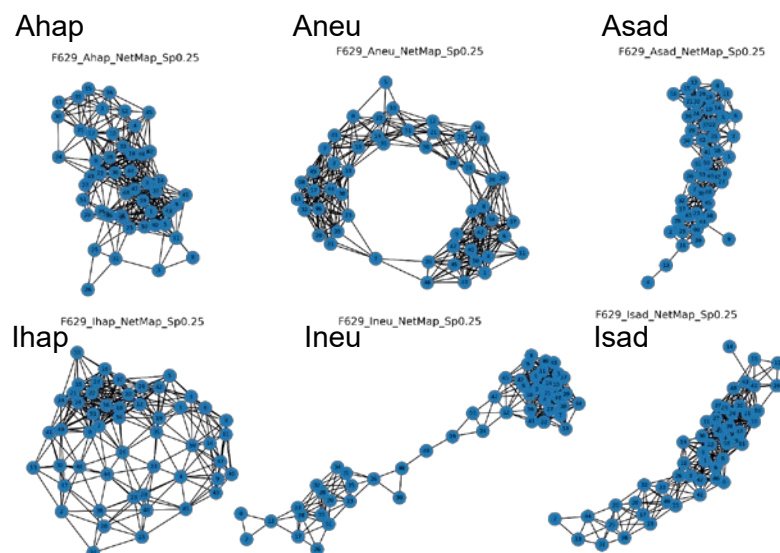


Fig. 13 Fig. 12の隣接行列を可視化したネットワーク構造
 注) 測定した52チャンネルについて、チャンネル同士の連結をネットワーク構造として表したもの。
 図中の数値はチャンネル番号。Ahap, Ihap はそれぞれ、成人のhappy顔、乳児のhappy顔を示す。以下、同様。

ス長などを求めることができる。今後さらに詳細な分析を行い、これらの特徴量と性格特性の相関を明らかにしたい。

5. 結言

本研究では、顔刺激に対する脳活動を fNIRS で測定した結果と性格特性との相関をディープラーニング (深層学習) の手法を用いて明らかにした。前頭前野の賦活のパターンを入力信号、性格特性指標値を出力信号として、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の手法で解析した結果、計測された脳賦活パターンから性格特性指標値が20%以内の誤差で予測できることが分かった。今後、顔刺激以外の視覚刺激に対しても同様の実験を行い、脳賦活という生理的反応と性格特性という心理的要因との相関をより詳

細に明らかにしていく予定である。本研究によって得られる知見は、青年期成人の顔刺激の種類に対する反応傾向と性格特性との関連を検討するための基礎資料となり、青年期成人への親性育成教育や、乳幼児の親の産後うつ予防あるいは虐待防止等の育児支援に寄与するものと期待される。

謝辞

本研究は JSPS 科研費（18K03072 研究代表者 庭野賀津子）の助成を受けたものです。

引用文献

- 1) Niwano, K. and Tanabe, M. "Regional brain responses in young adults during producing infant-directed speech: A NIRS study." *Proceeding of The 23rd Biennial Meeting of the International Society for the Study of Behavioural Development*, Shanghai, 2014
- 2) Niwano, K., Ito, A., Tanabe, M., Sato, Y. and Fujii, T. "An fMRI study of the relationship between neuroticism and neural responses to infant emotional faces. *Proceeding of 15th European Congress of Psychology*, Amsterdam, 2017
- 3) Ito, A., Niwano, K., Tanabe, M., Sato, Y. and Fujii, T. "Activity changes in the left superior temporal sulcus reflect the effects of childcare training on young female students' perceptions of infants' negative facial expressions." *Neuroscience Research* 131, 36-44, 2018
- 4) Hiwa, S., Hanawa, K., Tamura, R., Hachisuka, K. and Hiroyasu, T., "Analyzing Brain Functions by Subject Classification of Functional Near-Infrared Spectroscopy Data Using Convolutional Neural Networks Analysis," *Computational Intelligence and Neuroscience*, 9 Volume 2016, Article ID 1841945, 9 pages.
- 5) Rojas, R., F., Huang, X. and Ou, K.-L., "A Machine Learning Approach for the Identification of a Biomarker of Human Pain using fNIRS," *Scientific Reports* 9, Article number: 5645, 2019
- 6) 下仲順子, 中里克治, 権藤恭之, 高山緑「日本版 NEO-PI-R の作成とその因子的妥当性の検討」『性格心理学研究』 6 (2), 138-147, 1998
- 7) Costa, P. and McCrae, R. "Normal personality assessment in clinical practice: The NEO personality inventory." *Psychological Assessment* 14, 5-13, 1992
- 8) 下仲順子, 中里克治, 権藤恭之, 高山 緑『日本版 NEO-PI-R NEO-FFI 使用マニュアル改訂増補版』東京心理株式会社, 2011
- 9) Fujimura, T. and Umemura, H. "Development and validation of a facial expression database based on the dimensional and categorical model of emotions." *Cognition and Emotion* 32, 1663-1670, 2018. DOI: 10.1080/02699931.2017.1419936.
- 10) Tsuzuki, D., Jurcak, V., Singh, A.K., Okamoto, M., Watanabe, E. and Dan, I. "Virtual spatial registration of stand-alone fNIRS data to MNI space." *NeuroImage* 34, 1506-1518, 2007
- 11) Rorden, C. and Brett, M. "Stereotaxic display of brain lesions." *Behavioural Neurology* 12, 191-200, 2000
- 12) Simonyan, K. and Zisserman, A. "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition." *Conference paper ICLR*, 2015
- 13) He, K., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J. "Deep residual learning for image recognition." *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770-778, 2016. doi: 10.1109/CVPR.2016.90.

研究ノート

表情顔認知における脳血流反応と性格特性の関連

田邊素子、庭野賀津子、庭野道夫

東北福祉大学

要旨

養育者は乳児の情動表情の微細な変化を敏感に受け止めて、取るべき養育行動を判断している。そのため養育者は乳児の顔表情などからの的確に情動を認知し理解する必要がある。しかし、育児経験の無い青年期成人においては、乳児の表情のみからの情動認知は難しく、感受性や理解のしかたには個人差があると考えられる。そこで本研究では、青年期成人が乳児と成人の表情顔を認知しているときの脳機能を近赤外線分光法によって計測するとともに、性格検査を実施し、表情顔に対する脳反応と性格特性の関連について検討することを目的とした。

機能的近赤外線分光法（fNIRS）による脳機能計測とビッグ・ファイブ人格検査の一つである NEO-PI-R を実施した結果、前頭前野の顔刺激に対する賦活は人格 5 因子モデルの各次元のスコアと関連性があることが分かった。両者の相関を詳しく調べた結果、性格特性のうち外向性や調和性のスコアが高い対象者は、乳児の泣き顔または成人の悲しみの顔に対して前頭前野の顕著な賦活を示すことが判明した。その一方で、神経症傾向のスコアと前頭前野の賦活との間にはいずれの顔表情に対しても有意な相関が見られなかった。本研究より、顔刺激に対する脳血流反応の傾向は個人の性格に依存していることが明らかになった。本研究で得られた結果について今後さらに詳細な分析を行い、青年期成人の顔表情認知に影響を及ぼす性格特性について明らかにしていきたい。

キーワード：機能的近赤外線分光法（fNIRS）、脳血流反応、表情顔認知、ビッグ・ファイブ、青年期成人

1. 緒言

言語を獲得する前の乳児期において、顔の表情による情動表出はことばとしての役割を果たしており、養育者にとって重要な情報となる。母親は乳児の情動表情の微細な変化を敏感に受け止め、それに対応しながら対乳児発話の微調整をしたり、取るべき養育行動を判断したりしている¹⁾。そのため養育者は的確に乳児の表出する情動を認知し、理解する必要がある。しかし、育児経験の無い青年期成人においては、乳児の表情のみからの情動認知は難しく、感受性や表情の理解のしかたには個人差があると考えられる。著者らはこれまで、出産や育児経験のない成人が乳児の表情画像を見ているときの脳の賦活を、機能的近赤外線分光法（fNIRS）によって測定してきた。その結果、前頭前野（PFC）と上側頭溝（STS）で、表情の違いによる賦活の変化が見られた²⁾。また、機能的磁気共鳴画像（fMRI）による脳機能計測を行い、乳児の表情画像を見ているときの青年期女性の、前頭前野背外側部（DLPFC）と眼窩前頭野（OFC）の賦活と性格検査のスコアに有意な相関があることを見出した³⁾。さらに、青年期成人の乳幼児保育体験の前後に、表情認知時における脳活動を fMRI によって計測したところ、STS において、快・不快の乳児顔表情に対する有意な賦活の変化が見られた⁴⁾。これらの結果より、青年期成人における乳児表情顔認知における脳活動の違いには個人の性格特性や育児経験の有無等が影響していることが示唆され、さらなる検

討の必要性があるという認識に至った。

そこで本研究では、青年期成人の顔表情認知時の脳活動と性格特性との関連について検討をするため、乳児と成人の顔表情に対する脳血流反応を fNIRS によって計測し、さらに、NEO-PI-R による人格 5 因子モデルの性格特性を調べて、顔表情に対する脳活動と性格特性との関連を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

2. 1 研究対象者

対象者は、医療系学部に在籍する健常な大学生50名（男女各25名、平均年齢 21.3 ± 0.7 歳）である。全員右利きで、裸眼視力もしくはメガネやコンタクトレンズによる矯正視力が0.7以上であった。対象者には、本研究内容について文書と口頭で十分な説明を行い、研究参加について書面にて同意を得た。本研究は東北福祉大学研究倫理委員会にて審査・承認を得た後に実施された（承認番号：RS181101）。

2. 2 心理的評価

各対象者の心理的評価のために、ビッグ・ファイブ人格検査の一つである NEO-PI-R の日本語版を用いた。NEO-PI-R は人格 5 因子モデルに基づく質問紙法の人格テストで、質問は240問あり、個人の性格特性を、開放性（O: Openness）、誠実性（C: Conscientiousness）、外向性（E: Extraversion）、調和性（A: Agreeableness）、神経症傾向（N: Neuroticism）の5つの次元でとらえるものである。この尺度は性格特性を測定するために現在国内外で広く使用されている⁵⁾。アンケートの項目は、5段階のリッカート尺度に基づいて評価され、1と5はそれぞれ「そう思わない」と「そう思う」の両極のスコアである。

それぞれの次元のスコアが高いと、以下のような性格特性の傾向を示すとされている⁶⁾。開放性（O）が高い者は開放性が高く、芸術に対してより想像力があり、知的好奇心が強く、行動に柔軟性がある。誠実性（C）が高い者は学業や職業等の目標に向けて達成する意志が強く、勤勉で野心的である。外向性（E）が高い者は外向性が高く、活動、社交性、喜びなどの前向きな感情を示す傾向がある。調和性（A）が高い者は調和性があり、同情的で、社会的に好ましいとされる。神経症傾向（N）が高い者は、心理的ストレスを受けやすい傾向があり、怒り、不安、抑うつなどの不快な感情を容易にあらわす。

2. 3 顔表情認知課題と実験手順

顔表情認知課題における刺激呈示は、Platform of Stimuli and Tasks（日立製作所中央研究所開発ソフトウェア）を用いた。刺激に用いた画像は、乳児（Infant）と成人（Adult）それぞれ、①笑い顔または喜び顔（happy）、②泣き顔または悲しみ顔（sad）、③感情の不明確な曖昧顔または中性顔（neutral）の3種類の顔表情を正面から撮影した静止画である。乳児画像は、我々の過去の研究で使用した顔画像セット³⁾の4名（男女各2名）の乳児画像を用いた。一方、成人画像は、Fujimura et al. の顔表情データベース⁷⁾より4名（男女各2名）の顔画像を選び、使用した。これら、乳児と成人それぞれ、4名×4表情の写真を呈示刺激とした。

脳機能計測はブロックデザインで行った。課題（タスク）は Fig. 1（a）に示す通り、コントロール課題（黒地に白字の十字の固視点を提示）を20秒間、ターゲット課題（顔表情刺激）を12秒間、交互に3回ずつ呈示した。脳機能計測は、乳児顔、成人顔、それぞれ顔表情3種類の顔表情別に実施し、一人の対象者につき6回の計測を行った。対象者ごとに刺激画像呈示順のカウンターバランスをとった。脳機能計測の所要時間は一人当たり約30分であった。

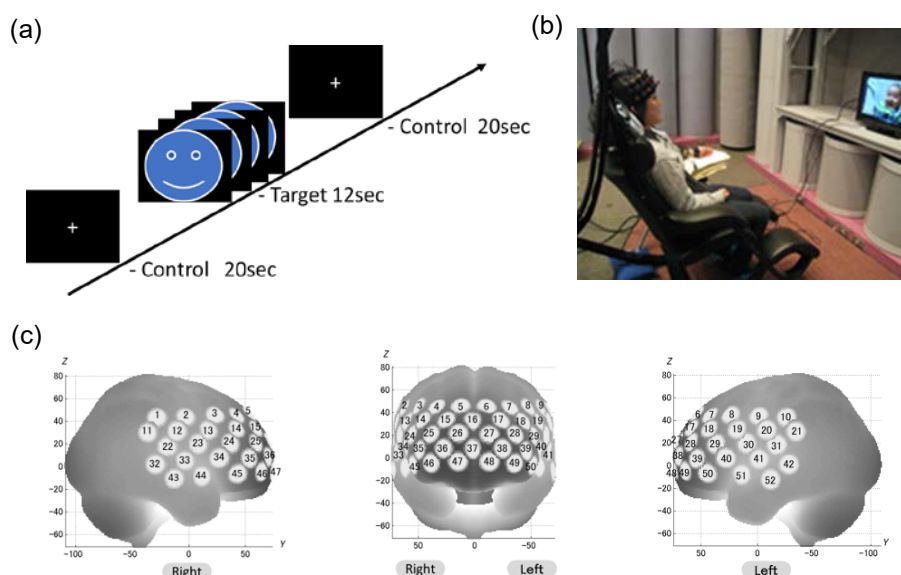


Fig. 1 脳機能計測の方法

注) (a) 呈示刺激のイメージ (b) fNIRS 計測の様子 (c) fNIRS のチャンネル配置図

2. 4 fNIRS 計測

脳機能計測は、静寂な実験室において行われた。対象者は背もたれの高い椅子に寄りかかる安定した座位姿勢で、1.5m 前方にある刺激呈示用モニター(画面サイズ21インチ)を注視するよう指示された (Fig. 1 (b))。計測は、多チャンネル fNIRS 装置 (ETG-4000、日立メディコ) を使用し、52チャンネルホルダーを前頭部から両側頭部にかけて装着した。最下列のプロープを国際10-20法の Fp1-Fp2 ラインとなるよう配置した (Fig. 1 (c))。本研究における大脳皮質の解剖学的な部位とチャンネル位置の対応は先行研究の⁸⁾のバーチャルレジストレーション結果を参考とした。

我々の用いた fNIRS 装置では、2種類の短波長 (695nm, 830nm) の近赤外光により、脳表層の酸素化ヘモグロビン (oxyHb) 濃度変化、脱酸素化ヘモグロビン (deoxyHb) 濃度変化、総ヘモグロビン (totalHb) 濃度変化を計測できる。脳の局所的な神経活動が増加すると血管が拡張して動脈の血流量が増加し、oxyHb 濃度が増大する。そのため、oxyHb 濃度変化が最も敏感に神経活動を反映すると考えられることから、本研究では oxyHb 濃度変化を脳機能計測の指標とし、後述の方法で酸素化ヘモグロビン濃度変化量の加算平均処理を行った。

2. 5 脳機能計測のデータ解析

各課題に対する個人の脳活性化を評価するために、fNIRS 装置によって計測された各課題条件の oxyHb 濃度変化量をチャンネルごとに抽出した。刺激呈示の12秒間のうち、ニューロン活動に対する血行動態反応の遅れを考慮して、課題開始後5秒後から課題終了5秒後までの12秒の区間を「時間窓」として解析対象とした。Fig. 2に示すように、この時間窓には、課題ブロック中の oxyHb 濃度変化量増加のピークが含まれていた。解析対象の時間窓における12秒間の oxyHb 濃度変化量の積分値 (Δ oxyHb) を算出した。

その後の統計分析では、課題条件間のチャンネルごとの Δ oxyHb の違いを評価した。そして、性格特性と脳の賦活および賦活部位との関係を分析するために、性格特性スコアとチャンネルごとの Δ oxyHb の間の相関係数を算出した。さらに、脳部位ごとの機能と性格特性との相関を明らかにするために、Table 1に示すとおり52チャンネルを先行研究^{8), 9)}に準じて脳の解剖学上の部位に分類し、それぞれの脳部位ごと

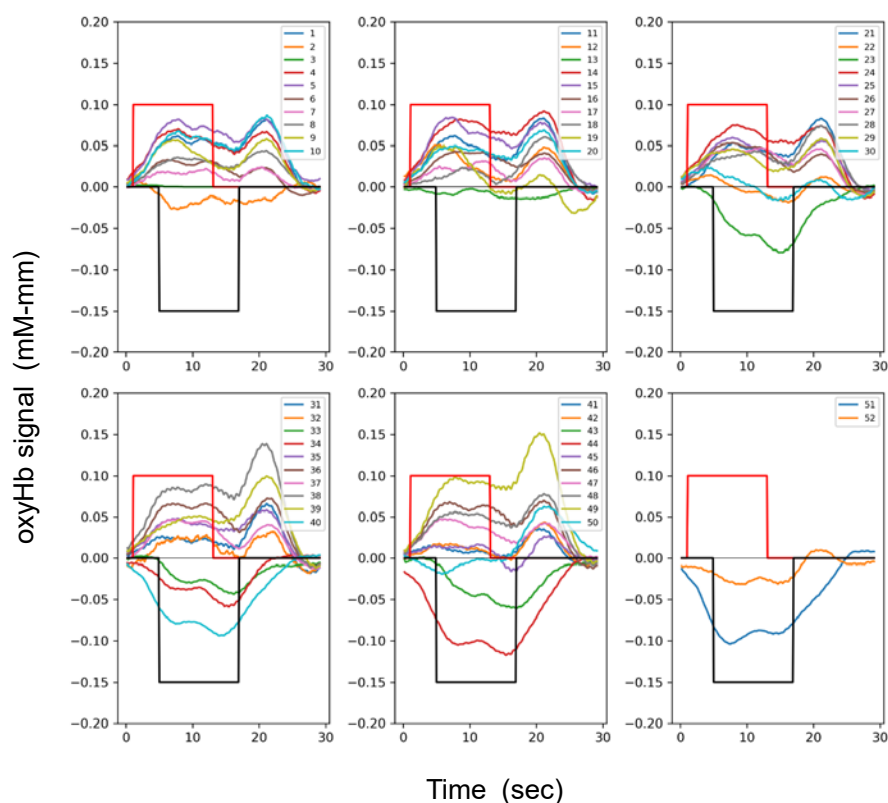


Fig. 2 実験中の酸素化ヘモグロビン濃度変化の例

注) 各グラフ中の赤の実線の枠は顔表情の提示時間窓を表す。一方、黒の実線の枠は解析対象とした時間窓を表す。
6つのグラフはそれぞれ、fNIRSの測定チャンネルごとの測定値を示す。グラフ内右上の数値はチャンネル番号。

Table 1 測定した52チャンネルの解剖学上の脳部位との対応

Area	Channel No.	BA	R-L	部位名	abbreviation	region
1	32,43	21	R	中側頭回	R_MTG	21 - Middle Temporal gyrus
2	1,11	40	R	縁上回	R_SPG	40 - Supramarginal gyrus part of Wernicke's area
3	22	22	R	上側頭回	R_STG	22 - Superior Temporal Gyrus
4	33	48	R	海馬後支脚野	R_RS	48 - Retrosubicular area
5	12	43	R	一次味覚皮質	R_SBC	43 - Subcentral area
6	44	38	R	側頭極	R_TP	38 - Temporopolar area
7	2,23	6	R	前運動野	R_PMC	6 - Pre-Motor and Supplementary Motor Cortex
8	24,34	45	R	下前頭回三角部	R_TRI	45 - pars triangularis Broca's area
9	13	44	R	下前頭回弁蓋部	R_OPC	44 - pars opercularis, part of Broca's area
10	3,4,5,14,15,25,35,45	9	R	前頭前野背外側部	R_DLPFC	9 - Dorsolateral prefrontal cortex
11	26,36,46	10	R	前頭極	R_FP	10 - Frontopolar area
12	47	11	R	眼窩前頭野	R_OF	11 - Orbitofrontal area
13	16,37	10	中央 (Fpz)	前頭極	C_FP	10 - Frontopolar area
14	48	11	L	眼窩前頭野	L_OF	11 - Orbitofrontal area
15	27,38,49	10	L	前頭極	L_FP	10 - Frontopolar area
16	6,7,8,17,18,28,39,50	9	L	前頭前野背外側部	L_DLPFC	9 - Dorsolateral prefrontal cortex
17	29,40	45	L	下前頭回三角部	L_TRI	45 - pars triangularis Broca's area
18	19	44	L	下前頭回弁蓋部	L_OPC	44 - pars opercularis, part of Broca's area
19	51	38	L	側頭極	L_TP	38 - Temporopolar area
20	9,30	6	L	前運動野	L_PMC	6 - Pre-Motor and Supplementary Motor Cortex
21	41	48	L	海馬後支脚野	L_RS	48 - Retrosubicular area
22	20	43	L	一次味覚皮質	L_SBC	43 - Subcentral area
23	42,52	21	L	中側頭回	L_MTG	21 - Middle Temporal gyrus
24	31	22	L	上側頭回	L_STG	22 - Superior Temporal Gyrus
25	10,21	2	L	縁上回	L_SPG	40 - Supramarginal gyrus part of Wernicke's area

Table 2 NEO-PI-R の結果の基本統計量

Factors	Mean	S.D.	Range
Neuroticism (N)	111.8	23.0	54-165
Extraversion (E)	107.0	18.8	74-150
Openness (O)	113.4	16.0	79-159
Agreeableness (A)	113.2	16.2	76-155
Conscientiousness (C)	98.7	22.5	41-143

Table 3 NEO-PI-R の 5 次元間の相関

Factors	N	E	O	A	C
N	—				
E	0.01	—			
O	0.02	0.41**	—		
A	-0.22	0.25	0.32*	—	
C	-0.42**	0.18	-0.26	0.26	—

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

の Δ oxyHb の平均と性格検査結果との相関も求めた。本研究において特に注目した領域は前頭部の前頭前野背外側部 (dorsolateral prefrontal cortex)、前頭極 (frontal pole)、眼窩前頭野 (orbitofrontal cortex) である。

3. 実験結果と考察

3. 1 性格検査

NEO-PI-R の結果に基づく、対象者の 5 次元の性格特性のスコアの基本統計量を Table 2 に示す。各スコアは 40 から 160 の範囲に分布していた。また各スコアの平均値及び標準偏差は日本人大学生の標準的標本⁵⁾ から得られたものと近似していた。

NEO-PI-R の各次元スコア間の相関を Table 3 に示す。開放性 (O) と外向性 (E) のスコア ($r = 0.41$, $p < 0.01$) 及び調和性 (A) と開放性 (O) のスコア ($r = 0.32$, $p < 0.05$) の間には有意な正の相関が認められた。また、誠実性 (C) と神経症傾向 (N) のスコア ($r = -0.42$, $p < 0.01$) の間には有意な負の相関が観察された。誠実性 (C) が神経症傾向 (N) と負の相関関係にあることは先行研究においても報告されている¹⁰⁾。

3. 2 脳賦活のタスク依存性

脳機能計測した各チャンネルの oxyHb 濃度変化量のタスク依存性を対象者ごとに調べた。乳児の 3 種類の顔表情に対する oxyHb 濃度変化量の分布 (活性化マップ) の 1 対象者の例を Fig. 3 に示す。図中の番号はチャンネル番号、図の左側が右脳、右側が左脳である。図で赤色の濃いチャンネルは oxyHb 濃度が高いところであり、脳の賦活を意味する (本稿の冊子版においてはモノクロ表示となっているが、電子版ではカラー表示となっているので電子版を参照されたい)。チャンネルごとの色の違いや濃淡の違いから、顔表情によって脳の賦活部位が異なることが示されている。対象者 50 名すべての平均をとった結果においても顔表情によって特異的に賦活する領域があることが分かったが、その詳細については別稿¹¹⁾ を参照されたい。

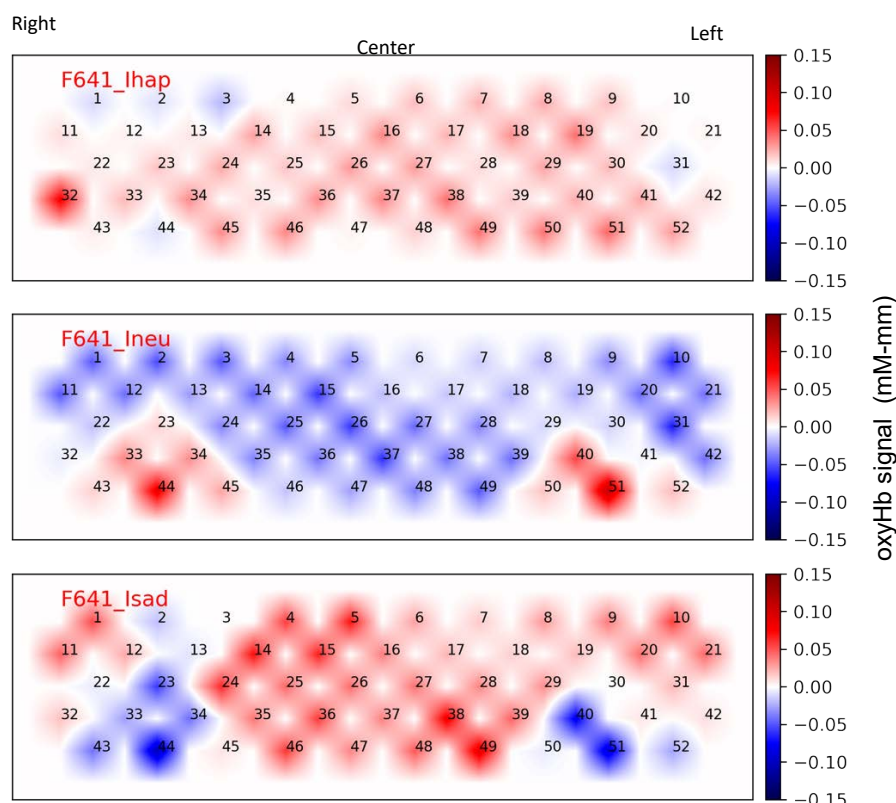


Fig. 3 刺激画像を見ているときの脳の賦活の例

注) 上から乳児の happy, neutral, sad の表情を見ている時の脳の賦活。図中の数値はチャンネル番号。各チャンネルの色及び濃淡は右のスケールに対応した oxyHb 濃度。

3. 3 性格スコアと脳賦活の関係

脳機能計測した52の各チャンネルの Δ oxyHb と 5 次元の性格特性スコアの相関を 6 種類の課題 (呈示した乳児・成人 $\times$ 3 種類の顔表情) ごとに調べた。一例として、成人の sad 顔と外向性 (E) の相関マップを Fig. 4 (a) に示す。図中の番号はチャンネル番号、図の左側が右脳、右側が左脳である。この図は Fig. 3 に示した活性化マップと似ているが、この図では色が赤い部位 (チャンネル) は正の相関を、青い部位は負の相関を示している。また、色の濃さは相関の強さを示している (本稿の冊子版においてはモノクロ表示となっているが、電子版ではカラー表示となっているので電子版を参照されたい)。この図に示された結果は、前頭前野中心部付近 (前頭前野背外側部、前頭極、眼窩前頭野) と外向性 (E) との間にやや強い正の相関があることを示している。また、Fig. 4 (b), Fig. 4 (c) は、Table 1 で示した脳部位のグルーピングとチャンネルを対応させたものである。

対象者全50名における、5 次元の性格特性と 6 種類の顔表情課題における脳賦活との相関の全体像を Fig. 5 に示す。色の違いや濃淡の違いの意味は Fig. 4 と同様である。この図から、外向性 (E)、調和性 (A) のスコアの高い人の前頭前野中心部のチャンネルが、乳児、成人のいずれの sad 顔に対しても賦活との強い正の相関を示すことが分かる。前頭前野は、意思や判断をつかさどる部位であるため、外向性 (E)、調和性 (A) のスコアの高い人は悲しい表情を見た時に対処の仕方を考えようとして前頭前野の血流量が増加する傾向にあることを示唆している。一方、神経症的傾向 (N) の高い人は happy, sad の両方の表情に対して相関の程度が比較的低い。また、誠実性 (C) と神経症的傾向 (N) は逆の相関のしかたを示している。すなわち、誠実性 (C) で正の相関を示している部位が、神経症的傾向 (N) では負の相関を示している。これは、前述したように、神経症的傾向 (N) と誠実性 (C) の性格指標値間で負の相関を

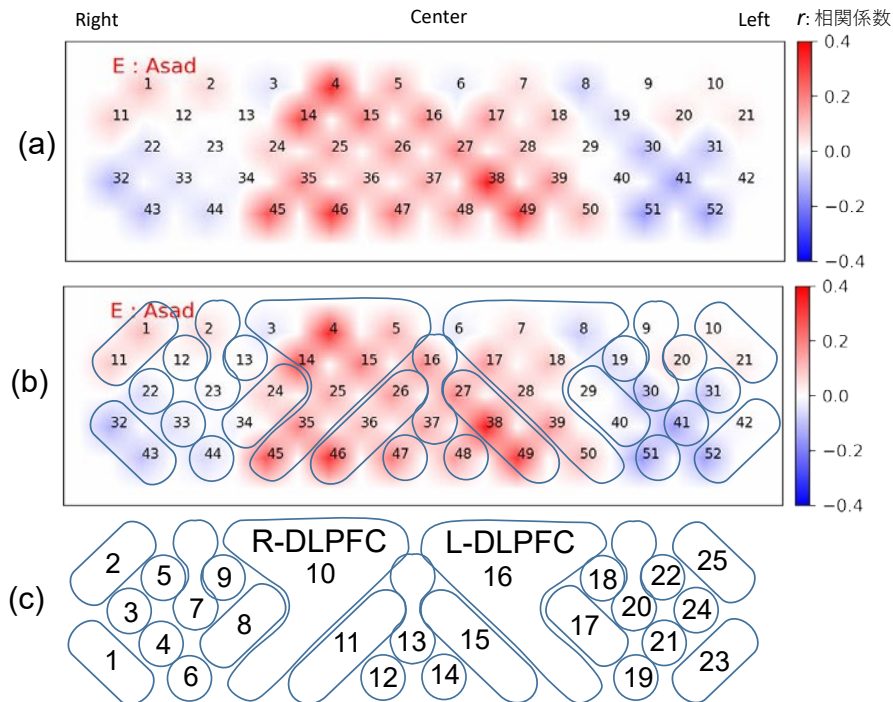


Fig. 4 刺激画像を見ている時の脳の賦活と外向性（E）スコアの相関の例
 注）(a) 各チャンネルのEスコアとの相関 (b) チャンネル配置上の脳の部位ごとのグルーピング (c) 脳の部位ごとのグルーピング、番号は Table 1 の [Area] に対応。

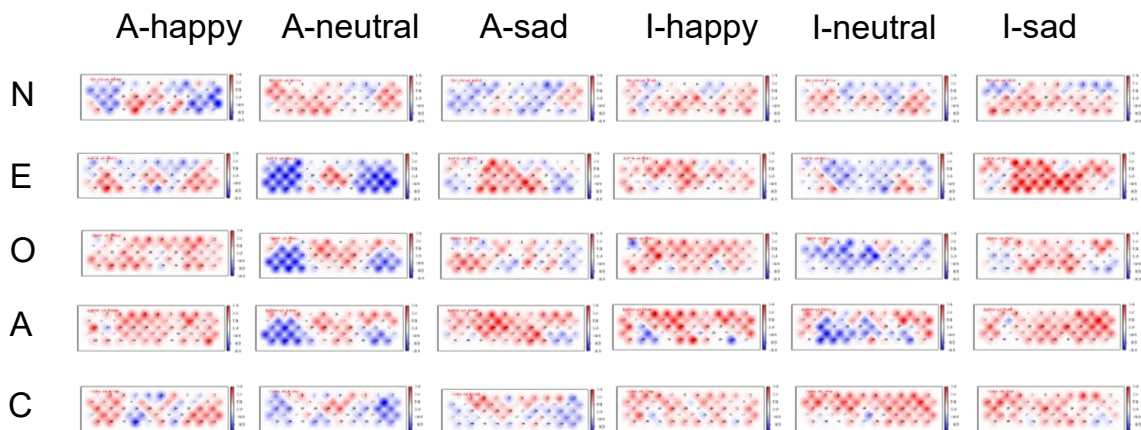


Fig. 5 刺激画像を見ている時の脳の賦活と各性格特性との相関の例
 注）A-happy の A は成人、I-happy の I は乳児、happy, neutral, sad はそれぞれ表情の種類
 N, E, O, A, C はそれぞれビッグ・ファイブの5次元

示したことに関係していると考えられる。また、Fig. 5 に示された相関の全体像を見ると、性格特性ごとに表情に対する相関のパターンが異なっていることが示唆される。したがって、各対象者の脳賦活の活性化パターンからそれぞれの対象者の性格が予測できる可能性がある。そこで、我々は深層学習（ディープラーニング）の技法を用いて、脳賦活の活性化パターンから性格指標値を予測する試みを行った。その結果については、別稿¹¹⁾で報告する。

また、Table 1 に従って52のチャンネルを脳の部位ごとに分類し（Fig. 4 (b) と Fig. 4 (c) を参照）、それぞれの部位ごとの平均 Δ oxyHb と5次元の性格特性との相関を調べた。その結果を Fig. 6 に示す。各グラフの横軸の数字は、右下の脳部位の番号に対応する。また、縦軸は相関係数を示す。図の左側に位

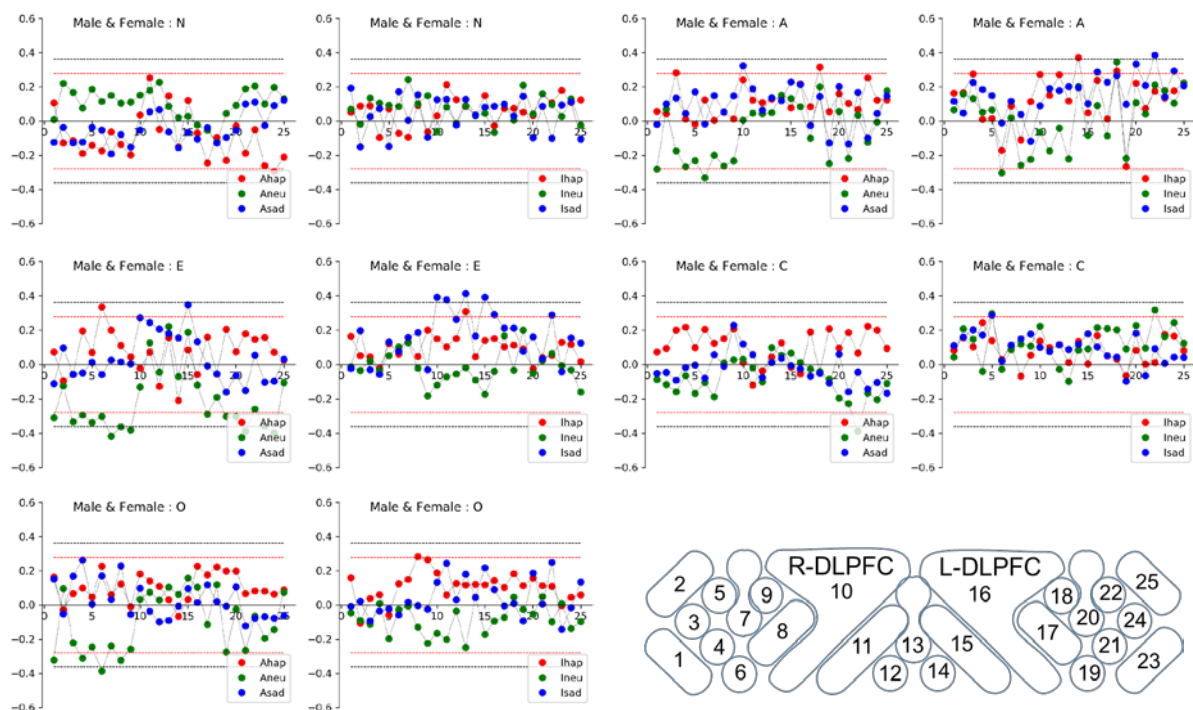


Fig. 6 顔表情の種類ごとの脳部位の賦活と性格特性との相関

注) 各グラフ右下にある凡例のAhapのAは成人、IhapのIは乳児、hap (happy), neu (neutral), sad はそれぞれ表情の種類。N, E, O, A, C はそれぞれビッグ・ファイブの5次元。各グラフの横軸の数値は、右下の脳部位の分類の数値に対応している。また、グラフの縦軸は相関係数である。

置する1番は計測した範囲の側頭部の最も右端に位置しており、図の右側に位置する25番は側頭部の最も左に位置していることを示している。また、前頭前野の中央部が10-16番である。グラフ中の赤線（相関係数0.0の線をはさんで上下内側の線）が5%有意水準、黒線（相関係数0.0の線をはさんで上下外側の線）が1%有意水準を表す。既に述べたように、外向性（E）、調和性（A）のスコアの高い人が、sad 顔に対して前頭前野の中心部付近の賦活が高くなる傾向にあることがこの図からも分かる。特に、乳児の sad 顔に対して、1%の有意水準で相関が認められた。また、成人の neutral 顔（グラフ中の Aneu: Adult-Neutral）に対して、開放性（O）、外向性（E）、調和性（A）の性格特性と右側頭部の脳賦活との間に負の相関が認められた。これらの性格特性のスコアの高い対象者の活性化マップを見ると右側頭部の oxyHb 濃度が減少していた。この oxyHb 濃度減少の原因は今のところ不明であるが、NIRS の検出領域外の脳深部に向かって血流が流れたのではないかと推測される。一方、誠実性（C）と神経症傾向（N）に関しては、性格のスコアと脳賦活との間には、顔表情の種類に関係なく有意な相関は認められなかった。

4. 結言

fNIRS による脳機能計測を行い、表情顔認知時における前頭前野の賦活と、人格5因子モデルによる性格特性との関連を検討した。両者の相関を詳しく調べた結果、性格検査の外向性（E）や調和性（A）のスコアが高い対象者が、成人、幼児の sad 顔に対して前頭前野領域の顕著な脳賦活を示すことが示された。その一方で、神経症傾向（N）のスコアと脳賦活との間にはいずれの顔表情に対しても有意な相関が見られなかった。本研究により、顔刺激に対する脳賦活は個人の性格特性に依存していることが明らかになった。本研究の結果得られた脳の賦活と性格特性との相関が脳機能とどのように関連しているのかについては今後の検討課題であり、現在研究を続行中である。今後、顔刺激に対する脳情報処理の実態についてネットワーク分析などを駆使してさらなる解析を進め、定量的に明らかにしていく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費（18K03072 研究代表者 庭野賀津子）の助成を受けたものです。

引用文献

- 1) Niwano, K., Kajikawa, S. and Sato, K. "Infant -directed speech is affected by infant gender and age in two natural contexts." *Studies in Language Sciences*. 12, 112-135, 2013
- 2) Niwano, K. and Tanabe, M. "Regional brain responses in young adults during producing infant-directed speech: A NIRS study." *Proceeding of The 23rd Biennial Meeting of the International Society for the Study of Behavioural Development*, Shanghai, 2014
- 3) Niwano, K., Ito, A., Tanabe, M., Sato, Y. and Fujii, T. "An fMRI study of the relationship between neuroticism and neural responses to infant emotional faces. *Proceeding of 15th European Congress of Psychology*, Amsterdam, 2017
- 4) Ito, A., Niwano, K., Tanabe, M., Sato, Y. and Fujii, T. "Activity changes in the left superior temporal sulcus reflect the effects of childcare training on young female students' perceptions of infants' negative facial expressions." *Neuroscience Research* 131, 36-44, 2018
- 5) 下仲順子・中里克治・権藤恭之・高山 緑『日本版 NEO-PI-R NEO-FFI 使用マニュアル改訂増補版』東京心理株式会社, 2011
- 6) Costa, P. and McCrae, R. "Normal personality assessment in clinical practice: The NEO personality inventory." *Psychological Assessment* 14, 5-13, 1992
- 7) Fujimura, T. and Umemura, H. "Development and validation of a facial expression database based on the dimensional and categorical model of emotions." *Cognition and Emotion* 32, 1663-1670, 2018. DOI: 10.1080/02699931.2017.1419936.
- 8) Tsuzuki, D., Jurcak, V., Singh, A.K., Okamoto, M., Watanabe, E. and Dan, I. "Virtual spatial registration of stand-alone fNIRS data to MNI space." *NeuroImage* 34, 1506-1518, 2007
- 9) Rorden, C. and Brett, M. "Stereotaxic display of brain lesions." *Behavioural Neurology* 12, 191-200, 2000
- 10) Wang, M.Y., Zhang, J., Lu F.M., Xiang, Y.T. and Yuan, Z. "Neuroticism and conscientiousness respectively positively and negatively correlated with the network characteristic path length in dorsal lateral prefrontal cortex: A resting-state fNIRS study." *Brain Behavior* 8, e01074, 2018. <https://doi.org/10.1002/brb3.1074>
- 11) 庭野賀津子・田邊素子・庭野道夫「ディープラーニングを用いた顔表情に対する脳反応と性格特性指標との相関に関する研究」『感性福祉研究所年報』22, 印刷中

研究ノート

宮城県で栽培したチュニジア産オリーブの ポリフェノール含量

山口政人¹、庭野道夫¹、磯田博子²

¹東北福祉大学 ²筑波大学

要旨

本研究は、寒冷地宮城県において、休耕地に試験栽培したチュニジア産オリーブの Chetoui (シェトウイ)、スペイン産 Arbequina (アルベキナ)、ギリシャ産 Koroneiki (コロネイキ) の果実中ポリフェノール含量と、オリーブ葉試料の保存条件によるポリフェノール含量への影響について調べることを目的とした。オリーブの試験栽培地は、石巻市網地島、仙台市国見ヶ丘、仙台市泉区の3地点とし、収穫時期は11月下旬から12月上旬とした。オリーブ果実のポリフェノール含量は、仙台市国見ヶ丘で栽培した Chetoui ($14.2 \mu\text{gGAE/g}$) が最も多く、石巻市網地島で栽培した Chetoui ($5.59 \mu\text{gGAE/g}$) の約2.5倍で有意な差があった。Arbequina においても、仙台市国見ヶ丘 ($5.01 \mu\text{gGAE/g}$) のほうが石巻市網地島 ($3.54 \mu\text{gGAE/g}$) よりも約1.5倍多かった。また、3品種の平均含量を栽培地域別にみると、仙台市国見ヶ丘で栽培したオリーブ ($8.59 \mu\text{gGAE/g}$) に対して、網地島 ($5.37 \mu\text{gGAE/g}$) となり、約1.6倍の差があった。既報では Chetoui のポリフェノール含量はヨーロッパ産に比べて高いと言われており、我々の測定値においてもそれに準じた結果が得られた。尚、試験栽培地によるポリフェノール含量の差異について、原因の一つは気象条件に因るものと考えられる。一方、オリーブ葉ポリフェノール含量は、葉の抽出液あるいは乾燥粉末の状態、遮光保存することにより、1年後でも収穫直後の含量とほぼ同じ値を示した。室温や冷蔵保存による影響は少なかった。一方、遮光せず1年間保存すると収穫直後に比べて20~35% 有意に減少することが分かった。これらの結果はオリーブの成分研究や様々な製品開発において貴重な知見となりうる。

キーワード: オリーブ、オリーブ葉、ポリフェノール、寒冷地栽培、チュニジア

1. 緒言

我々は宮城県の地域振興を目的とし、休耕地を活用した寒冷地オリーブ試験栽培を2018年に開始した。今年で3年目を迎える。栽培品種は、チュニジア産の Chetoui (シェトウイ) を始め、スペイン産 Arbequina (アルベキナ)、ギリシャ産 Koroneiki (コロネイキ) の3品種である。オリーブ栽培は、温暖で乾燥した地中海性気候が適しており、わが国では西日本や瀬戸内海の地域において盛んに行なわれている傾向がある。例えば、香川県小豆島は、明治41年に政府によって産業用の栽培候補地として選定を受け、オリーブ関連商品の製造販売から観光産業まで盛んに行なわれている。現在オリーブの生産量は全国シェア95%を占め1位である。小豆島の年間平均気温は 15.6°C (年間平均最高気温 20.2°C) である¹⁾。一方、国内における寒冷地栽培では、宮城県が北限と言われており、東日本大震災後、石巻市はオリーブオイルの産業化と雇用創出を目的に組織的な栽培を始めている。石巻市の年間平均気温は 11.6°C (年間平均最高気温は 15.5°C) であり、小豆島と比較し、気温が4~5 $^{\circ}\text{C}$ 低いことがわかる²⁾。しかし、現時点でオリーブの寒冷地栽培に関する学術的な知見がない。そのため、寒冷地におけるオリーブの生育条件を調べ、そ

これらの結果を、栽培方法の最適化に応用したり、オリーブの果実や葉等の成分の影響を調査することは、学術的に意義が深いと考える。また、日本におけるチュニジア産の Chetoui の栽培は他に事例がなく、珍しい取り組みと言える。2018年の定植時、苗木の背丈は30センチメートル程度であったが、現在は2メートルを超える木も多く見られる。この間、日本各地で被害をもたらした2019年の台風19号のほか、梅雨、強風、積雪にも耐え、順調に生長した。昨年（2020年）の夏から秋にかけて、3品種全てにおいて、初めてオリーブの果実が観察された。これらは宮城の気候に育まれ、実ったオリーブである。ところで、オリーブのポリフェノールは、抗酸化作用、抗菌作用、抗炎症作用、血糖値上昇抑制作用などの機能が知られていること、チュニジア産オリーブは、ヨーロッパ産オリーブと比べてポリフェノール含量が高いなどの特徴がある³⁾。オリーブ葉のポリフェノールから、抗がん作用や抗アレルギー作用など様々な生理活性があることが報告されている^{4,8)}。更に、ポリフェノールの生理機能を期待した、葉茶、葉や枝の乾燥粉末を材料とした畜産用、養魚用飼料の開発など⁹⁻¹⁰⁾、多面的にオリーブの研究が行なわれており、オリーブは興味が尽きない植物である。

本研究では、寒冷地宮城県で栽培したオリーブの特色を明らかにしていくため、今回、2つの定量実験を行なった。1つ目は、石巻市網地島、仙台市国見ヶ丘、仙台市泉区で試験栽培したオリーブ3品種の果実（初なり）を収穫し、その抽出液中の総ポリフェノールを定量した。2つ目は、昨年収穫したオリーブ葉の粉末と、その粉末から調製した抽出液を用いて、異なる保存条件によるポリフェノール含量の影響を調べた。簡便で経費を要さない保存条件が見つければ、オリーブの多目的活用において可能性が拡がると言える。将来的には寒冷地宮城で栽培したチュニジア産オリーブ等から、健康機能に寄与する成分を明らかにし、付加価値向上と地域振興に寄与することを目指す。

2. 実験方法

2-1. 試料と栽培地

試料としたオリーブの果実は、宮城県内3地域、即ち、石巻市網地島オリーブ農園、仙台市国見ヶ丘キャンパス教育実践農園から Chetoui、Arbequina、Koroneiki の3品種、仙台市泉区のボランティアが栽培した Koroneiki の1品種とした。収穫は2020年11月下旬から12月上旬とした。写真の通り、茶褐色の熟している果実が6～8割程度を占め、残りは黄緑色の若い果実であった（Table 1）。収穫量は、各試験栽培地においてそれぞれ異なった。即ち、石巻市網地島では Chetoui が10.8g、Arbequina が225g、Koroneiki が155g、仙台市国見ヶ丘では Chetoui が0.4g、Arbequina が40.8g、Koroneiki が10.5g、仙台市泉区の Koroneiki は71.8g であった。各試験栽培地における3品種の栽培本数は全て異なり、ここでは詳細な記述を控えるが、例えば、オリーブの樹1本当当たりの収穫量について、石巻市網地島と仙台市国見ヶ丘において比較すると、石巻市網地島では Chetoui が2.2g、Arbequina が32.1g、Koroneiki が22.1g であったのに対して、仙台市国見ヶ丘では、Chetoui が0.04g、Arbequina が2.0g、Koroneiki が0.7g であった。全体的に石巻市網地島の収穫量のほうが、仙台市国見ヶ丘に比べて15～50倍多かったことがわかる。この理由として、苗木の定植時期が石巻市網地島では2018年5月に対し、仙台市国見ヶ丘では2018年8月であったため、樹勢が最も活発となる初夏から夏の時期の3ヶ月間の定植時期の違いが一因と考えられる。品種間の比較では、Chetoui の着果が他の2品種に比べて明らかに劣っていた。Chetoui はチュニジア産の気候に適した品種であるのかも知れない。

一方、オリーブ葉の粉末、あるいは、その粉末から調製した抽出液は、昨年のオリーブ葉ポリフェノールの定量に用いた抽出液を使用した¹¹⁾。

Table 1 宮城県内3地域で採取したオリーブ果実

	Chetoui	Arbequina	Koroneiki
Ishinomaki -Ajishima			
Yield (g)	10.8	225	155
Sendai -Kunimigaoka			
Yield (g)	0.4	40.8	10.5
Sendai -Izumiku	—	—	
Yield (g)			71.8

2-2. 試料の調製と保存条件

採取した各種オリーブ果実は、粉碎機（Multi Grinder, BioloMix700™）で破碎し、粉碎物1.0gを遠沈管に入れ、10mLの80%メタノールを加え、常温（23℃±2℃）、暗所下で、3日間振とうした。その後、遠心力5,500g、10分間遠心分離し、上清を回収、10mLに定容し、オリーブ果実のポリフェノール抽出液とした。直後、ポリフェノールの定量実験を行なった。抽出溶媒の選定については、多くの文献で80%メタノールを使用していることから¹²⁾、これに準じた。

異なる保存条件によるオリーブ葉ポリフェノール測定では、網地島で試験栽培したオリーブの葉を用いた。葉の抽出液の調製方法は以下の通りである。即ち、採取した各種オリーブ葉を乾燥機（Food Dehydrator LT-81™）で80℃、2時間乾燥し、粉碎機で粉末にした後、各種オリーブ葉の粉末1.0gを遠沈管に入れ、70%エタノール10mLを加え、常温、暗所下で3日間振とうした。その後、遠心力5,500g、10分間遠心分離し、上清を回収、10mLに定容し、オリーブ葉のポリフェノール抽出液とした。

オリーブ葉試料の保存条件は4通りを設定した。1つ目は、葉の抽出液を遮光せず室温で1年間保存、2つ目は、葉の抽出液を遮光し室温で1年間保存、3つ目は、葉の抽出液を遮光し4℃下で1年間保存した。4つ目は、葉の粉末を遮光し、室温で1年間保存し、ポリフェノールの測定前に抽出液を調製した。実験では、昨年、葉の収穫直後に定量したポリフェノールの測定値に対し、異なる保存条件下で1年経過後のポリフェノール値を比較した。

2-3. 総ポリフェノール含量の測定

Folin-Ciocalteu法によりオリーブ果実、あるいはオリーブ葉に含まれる総ポリフェノールを定量した。抽出液はISO14502-1:2005に基づき、適宜希釈した抽出液1.0mLに、フェノール試薬（関東化学）5mLを加えた後、5分後に7.5%（W/V）炭酸ナトリウム溶液4.0mLを加え、室温で60分放置後、分光光度計（Novaspec II Spectrophotometer™）により765nmにおける吸光度を測定した。ブランクは純水とした。検量線は、10、20、30、40、50 μg/mLに溶解した没食子酸一水和物™（FUJIFILM Wako）を用いて作成し（Fig.1）、試料中の総ポリフェノール含量を没食子酸相当量（μgGAE/g）として求めた¹³⁾。GAEはGallic acid equivalentを示す。総ポリフェノール量の計算式は次の通りである。

$$W_t = \frac{(D_{\text{sample}} - D_{\text{intercept}}) \times V_{\text{sample}} \times d}{S_{\text{std}} \times M_{\text{sample}}}$$

W_t: 試料中の総ポリフェノール量、D_{sample}: 試料溶液の吸光度、D_{intercept}: 検量線 Y 軸切片の吸光度、S_{std}: 検量線の傾き、M_{sample}: 試料量 (g)、V_{sample}: 試料抽出液量 (mL)、d: 比色定量した時の試料希釈倍率。

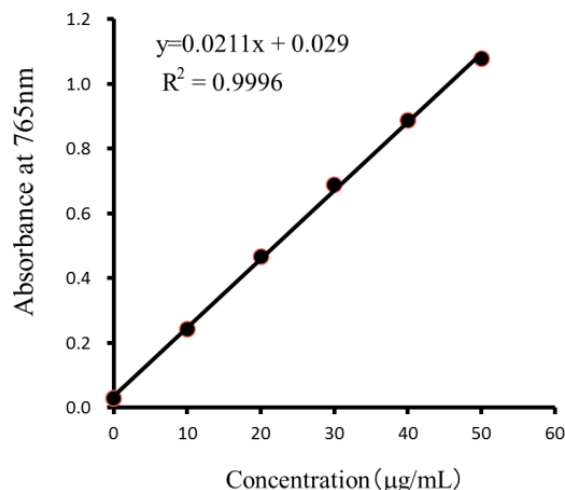


Fig. 1 ポリフェノールの定量に用いた没食子酸の検量線

3. 結果並びに考察

3-1. オリーブ果実中のポリフェノール含量

オリーブ果実中のポリフェノール含量は、Folin-Ciocalteu 法を用い、Fig. 1 に示した没食子酸の検量線 ($R^2=0.9996$) 並びに前述した計算式に基づき、果実 1 g 当たりの重量 (μg) を没食子酸換算 ($\mu\text{gGAE/g}$) で表し、得られた定量値を Table 2 にまとめた。

その結果、Chetoui のポリフェノール含量は、3 地域のうち仙台市国見ヶ丘で栽培した Chetoui ($14.2 \mu\text{gGAE/g}$) が最も多く、石巻市網地島で栽培した Chetoui ($5.59 \mu\text{gGAE/g}$) の約2.5倍となり、有意な差があった。Arbequinaにおいても、仙台市国見ヶ丘 ($5.01 \mu\text{gGAE/g}$) のほうが石巻市網地島 ($3.54 \mu\text{gGAE/g}$) よりも約1.5倍高く、有意な差があった。Koroneikiにおいては、石巻市網地島 ($6.98 \mu\text{gGAE/g}$)

Table 2 宮城県内で栽培したオリーブ果実抽出液中のポリフェノール含量

site	Cultivar		
	Chetoui	Arbequina	Koroneiki
Ishinomaki-Ajishima	5.59 ± 0.06^a	3.54 ± 0.06^b	6.98 ± 0.04^d
Sendai-Kunimigaoka	14.2 ± 0.19^a	5.01 ± 0.09^b	6.55 ± 0.05^c
Sendai-Izumiku	—	—	5.55 ± 0.05^{cd}

Polyphenol content: $\mu\text{gGAE/g}$, GAE: Gallic acid equivalent,

Data represent the mean of three determination $\pm$ standard deviation.

Values followed by the same letters within cultivar are significantly different at $p < 0.05$.

並びに仙台市国見ヶ丘 ($6.55 \mu\text{gGAE/g}$) は、仙台市泉区 ($5.55 \mu\text{gGAE/g}$) と比べて約1.3倍多かった。また、3品種の平均ポリフェノール含量を栽培地域別にみると、仙台市国見ヶ丘で栽培したオリーブでは $8.59 \mu\text{gGAE/g}$ となり、石巻市網地島 $5.37 \mu\text{gGAE/g}$ の約1.6倍の差があり、即ち、仙台市国見ヶ丘で栽培したオリーブ果実のほうが、ポリフェノール含量が多かった。既報では、チュニジア産オリーブの特徴はヨーロッパ産オリーブと比べて、ポリフェノール含量が多いことが筑波大学とチュニジアの研究機関の共同研究により報告されている^{3),14)}。本研究では上述の通り2.5倍という差が見られ、Chetoui の特徴を観察することができた。

ところで、Olfa らはチュニジアオリーブの成分比較を行っており、Chetoui については、 $65.71 \sim 104.4 \mu\text{g/g}$ と報告している¹⁵⁾。定量値に幅があるのは、オリーブ果実の収穫時期を10月、11月、12月の3段階に分けて収穫し、測定しているからである。このうちポリフェノール含量が最も高い $104.4 \mu\text{g/g}$ を示したオリーブは11月に収穫したものである。Nabil らは、チュニジアの3地域で栽培した Chetoui のポリフェノール含量が熟成度合によって変化することを述べ、更に、抗酸化活性などの生理活性の強さがポリフェノール含量の変動と連動するという興味深い報告をしている¹⁶⁾。我々が栽培した Chetoui のポリフェノール含量は、現地チュニジアで栽培されたものと比べて4~10倍少ない結果となった。今回、初なりの果実であることから、元々の収量が少ないため、収穫時期を厳密に設定し、定量実験に供することが困難であったことが一因である。そのため、収穫時期とポリフェノール含量、果実の熟成との関係性については次年度の課題としたい。また、チュニジアと寒冷地宮城県の気象条件の違いについてもオリーブの成長やポリフェノール含量に影響しているかも知れない。Nabil らの報告では、チュニジアの年間平均気温が $19.5 \sim 21.3^\circ\text{C}$ 、年間降水量は $189.4 \sim 438\text{mm}$ と述べている¹⁶⁾。一方、石巻の年間平均気温は 11.6°C 、仙台は 12.4°C であり、 7°C 以上の差がある。年間降水量は宮城県全体で $1310 \sim 1390\text{mm}$ である。チュニジアでは気温が高い6月~8月 ($25 \sim 32^\circ\text{C}$) にかけて、降水量が数10mm程度であり、梅雨前線の影響を受ける日本の気象条件と明らかに異なる。また、仙台市と石巻市網地島のオリーブポリフェノール含量の差異についても、様々な要因が挙げられるが、気象条件の違いについて考察が必要である。これに関しては、共同研究者が別で報告準備中であり、本報で述べることを控える。

3-2. オリーブ葉試料の異なる保存条件がポリフェノール含量に及ぼす影響

オリーブポリフェノールの機能には、高い抗酸化作用を始め、血糖降下作用、骨形成促進作用、抗菌作用などの報告がある^{7),8),17-21)}。特にポリフェノール含量の高いオリーブ葉については、食品や飲料用の材料、家畜や養魚飼料の添加物として利活用が進められている。そのため、材料となるオリーブ葉の保存条件については重要事項である。本研究では、昨年の石巻市網地島で採取したオリーブ葉3品種について、採取直後に抽出したポリフェノール含量に対して、4つの保存条件を設定し、1年後のポリフェノール含量を測定した。その結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2-a のグラフは、各オリーブ葉の採取直後に抽出した新鮮な状態のポリフェノール含量である。即ち、Chetoui が 59.1mgGAE/gDW 、Arbequina が 61.8mgGAE/gDW 、Koroneiki が 59.3mgGAE/gDW であった。これに対し、Fig. 2-b の条件は、抽出液を遮光せず室温で1年間保存したものであり、Chetoui は 42.0mgGAE/gDW 、Arbequina が 49.4mgGAE/gDW 、Koroneiki が 38.5mgGAE/gDW と測定され、Fig. 2-a に対して、それぞれ順に約30%減、約20%減、約35%減となり、3品種とも有意に減少した。一方、Fig. 2-c は、抽出液を遮光し、室温で1年間保存したものであり、Chetoui は 54.3mgGAE/gDW 、Arbequina は 58.2mgGAE/gDW とやや減少傾向を示したが有意差はなく、Koroneiki においてはほぼ同じ値を示した。Fig. 2-d は、抽出液を遮光し、 4°C で1年間保存したものであり、Fig. 2-e は、オリーブ葉の乾燥粉末を遮光し、室温で1年間保存し、ポリフェノール測定時に抽出液を調製し測定したものである。Fig. 2-d、Fig. 2-e 共に、3品種全てにおいて、1年後でも収穫直後の含

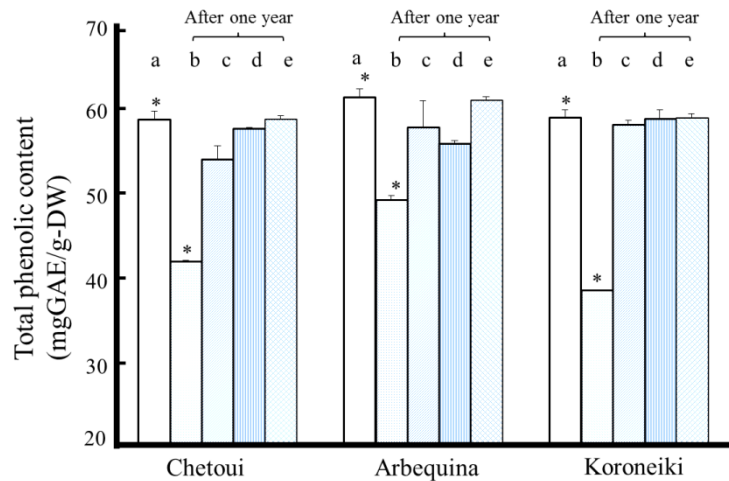


Fig. 2 異なる保存条件によるオリーブ葉抽出液中ポリフェノール含量

a: 初年度の抽出時ポリフェノール含量

b: 1年後のポリフェノール含量 (抽出液を遮光せず、室温で保存)

c: 1年後のポリフェノール含量 (抽出液を遮光して、室温で保存)

d: 1年後のポリフェノール含量 (抽出液を遮光して、4℃で保存)

e: 1年後のポリフェノール含量 (粉末を遮光して、室温で保存、ポリフェノール測定時に抽出液を調整)

* $p < 0.05$ (試料は網地島オリーブ農園の各種オリーブ葉を使用した)

量とほぼ同じ値を示した。

以上の結果より、Chetouiにおいては冷蔵保存することがより良いが、最も重要な条件として、抽出液あるいは乾燥粉末を遮光することがポリフェノールの貯蔵安定性に寄与することがわかった。大山らは、香川県のブランド養殖魚オリーブハマチの飼料に、オリーブ葉粉末を1.7%配合し、14日間の連続給餌によって、ブリの血合筋の褐変速度が抑制されるという興味深い報告をしている。血合筋の褐変抑制効果の発現のためにはポリフェノール含量の高いオリーブ葉を魚に与えることが必要であり、オリーブハマチの出荷尾数の増加に伴い、オリーブ葉の使用量も増加しているという²²⁾。これを受けて、柴崎らは、オリーブ葉のポリフェノール含量は、品種、採取時期、気象条件、採取後の取り扱いによって変動するが、採取後の取り扱いも重要な要因として、オリーブ葉のポリフェノールの保存安定性を調べている。オリーブ3品種 Lucca、Mission、Nevadillo blanco の葉を用いた実験では、収穫後は室内保存で2週間以内に乾燥、粉末化した後、密封、暗所、常温保存することで1年間は安定していると述べている²³⁾。私の研究においても、大山らとは異なる品種を用いているが、同様の条件下でポリフェノール含量が保持されていることが認められた。これらの結果は、オリーブ葉ポリフェノールを取り扱う分析研究、あるいはオリーブ葉を活用した様々な製品開発の分野において貴重な基礎情報となりうる。

4. 結言

宮城県の3地域、即ち、石巻市網地島、仙台市国見ヶ丘、仙台市泉区において、3品種オリーブ (チュニジア産 Chetoui、スペイン産 Arbequina、ギリシャ産 Koroneiki) を試験栽培し、初年りの果実を収穫し、果実中ポリフェノール含量を、Folin-Ciocalteu 法によって測定した。その結果、3品種の中で、仙台市国見ヶ丘で栽培した Chetoui が最も高い含量を示した。また、3品種を合計したポリフェノールの平均含量では、仙台市国見ヶ丘で栽培したオリーブが最も多かった、この原因の一つとして試験栽培地の気象条件が考えられるが、十分な考察に至らず今後の研究課題とする。また、オリーブ果実の収穫時期とポリフェノール含量との関係についても調査していきたい。一方、オリーブ葉ポリフェノールの保存安定性については、抽出液あるいは葉の乾燥粉末を、室温あるいは冷蔵で遮光保存することで1年間はポリフェノール

が安定的に保持されることがわかった。今後は、オリーブポリフェノールを構成する主要成分の一つであるオレウロペインについて定量分析し、保存安定性のほか、抗酸化機能も調べていきたい。

寒冷地宮城で生育したオリーブの様々な学術情報を蓄積し、北限のオリーブとして植栽活動や産業化に励む宮城の人々に還元し、オリーブの付加価値の向上と地域振興に貢献していきたいと考えている。

謝辞

本研究は、東北福祉大学感性福祉研究所において、文部科学省の研究施設運営支援の助成を得て行なわれました。

本研究は、チュニジア種苗会社の Muhamed Gahbi Mahjoub 社長、チュニジア農業大学元学長の Harrabi 教授、石巻市牡鹿総合支所、NPO 法人ジョイフル網地島の阿部孝博代表並びに事務局の皆様他、多くの方の協力の下で行なわれました。関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 庭野道夫, 山口政人, 渡邊圭, 磯田博子「チュニジア産オリーブ栽培の実践的研究 I」『感性福祉研究所年報』20, 79-94, 2019
- 2) 『石巻産オリーブについて』 東部地方振興事務所農業農村整備部 <https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/et-sgsin-ns/hokugenolive-ichiran.html>
- 3) JSTNews jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2010/201011/pdf/2010_11_p14.pdf 1 バックナンバー 11月号 (独) 科学技術振興機構発行 7 (8), 2010
- 4) Savournin, C., Baghdikian, B., Elias, R., Dargouth-Kesraoui, F., Boukef, K. and Balansard, G. "Rapid high-performance liquid chromatography analysis for the quantitative determination of oleuropein in *Olea europaea* leaves" *Journal of Agricultural Food chemistry* 49, 618-621, 2001
- 5) Gonzales, M., Zarzuelo, A., Gamez, M.J., Utrilla, M.P., Jimenez, J. and Osuna, I. "Hypoglycemic activity of olive leaf" *Planta Med*, 58, 513-515, 1992
- 6) Bisignano, G., Tomaino, A., LoCascio, R., Crisafi, G., Ussella, N. and Saija, A. "On the in-vitro antimicrobial activity of oleuropein and hydroxytyrosol" *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 51 (8), 971-974, 1999
- 7) Parida, Y., Junkyu, H. and Hiroko, I. 「オリーブ由来ポリフェノール成分の抗がん・抗アレルギー活性解析」『沙漠研究』18 (4), 183-187, 2009
- 8) Nakazaki, E., Junkyu, H. and Hiroko, I. 「チュニジア産オリーブ葉抽出物のヒト白血病細胞分化誘導作用」『New Food Industry』52 (7), 21-27, 2010
- 9) Bouarab, C., Degraeve, P., Ferhout, H., Bouajila, J. and Oulahai, N. "Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives" *Journal of Food Agriculture* 15:99 (4), 1457-1474, 2018
- 10) 大山憲一, 柴崎博行, 大西茂彦, 柴田英明, 小川雅廣「香川県産飼料用オリーブ葉のポリフェノール含量に及ぼす保存方法の影響」『日本水産学会誌』63 (12), 570-574, 2016
- 11) 山口政人, 庭野道夫, 渡邊圭, 磯田博子「宮城県で栽培したチュニジア産オリーブ葉抽出物のポリフェノール含量と抗菌活性」『感性福祉研究所年報』21, 27-37, 2020
- 12) 朝日信吉「オリーブオイルの抽出方法とポリフェノール分析」成果発表一覧, 公益財団法人かがわ産業支援財団, 2020
- 13) Folin, O. and Denis, W. "A Colorimetric method for the determination of phenols (and phenolderivatives) in urine" *Journal of biological chemistry* 22, 305-308, 1915

- 14) 「チュニジア国 高機能性オリーブを用いた商品開発事業 準備調査 (BPO ビジネス連携促進) ファイルレポート」(独) 国際協力機構 (JICA), (株) アレナビオ, (株) ヤマヒサ, (株) アグリオリーブ小豆島, (国) 筑波大学, JICA 報告書 PDF 版, 2017
- 15) Olfa Dridi Gargouri, Yasmine Ben Rounia, Amir Ben Mansour, Guido Flamini, Bechir Ben Rounia and Mohamed Bouaziz “Comparative Study of oil quality and Aroma Profiles from Tunisian olive cultivars growing in Saharian oasis using chemometric analysis” *Journal of Oleo Science*, 65 (12), 1033-1044, 2016
- 16) Nabil B.Y., Abaza, L., Ouni Y., Salma, Nmm, Debbech,N., Abdelly, C. and Zarrouk, M
“Influence of the site of cultivation on Chetoui olive (*Olea europaea* L).oil quality” *Plant Production Science* 15:3, 228-237, 2012
- 17) Myriam, B.S., Hafedh, A., and Manef, A. “Study of Phenolic Composition and Biological Activities Assessment of Olive Leaves from different Varieties Grown in Tunisia” *Medicinal chemistry* 2 (5), 107-111, 2012
- 18) Hayet, E., Raouf, J., Hechmi, C., Luc, V., Guido, F., Dalenda, B., Mohamed, H., Mahjoub, A. and Maha, M. “A comparative study on chemical composition, antibiofilm and biological activities of leaves extracts of four Tunisian olive cultivars” *Heliyon* 5 (5), 1-8, 2019
- 19) Leila, A., Nabil, BY., Hedia, M., Faouzia, M.H., Kaouther, M. and Mokhtar Zarrouk. “Chétoui olive leaf extracts: Influence of the solvent type on phenolics and antioxidant activities” *Grasas y aceites*, 62 (1), 96-104, 2011
- 20) Ines,K., Karim,J., Thomas, M., Maria, H.i, Alexios, L. and Noureddine, A. “Characteristics, phytochemical analysis and biological activities of extracts from Tunisian Chetoui *Olea europaea* Variety” *JournalofChemistry*Article ID 418731, 1-11, 2015
- 21) 荒木理沙, 藤江敬子, 中田由夫, 鈴木浩明, 松井幸一, 植松勝太郎, 柴崎博行, 安藤貴彦, 植山ゆかり, 磯田博子, 橋本幸一「オリーブ葉茶の継続飲用が体格や糖・脂質代謝に及ぼす影響に関する探索的検討」『日本栄養・食糧学会誌』71 (3), 121-131, 2018
- 22) 大山憲一, 大西茂彦, 松岡博美, 東畑顕, 石田典子, 小川雅廣「オリーブ葉添加飼料を投与した養殖ブリ筋肉の脂質および呈味評価」『日本食品科学工学会誌』64 (10), 507-514, 2017
- 23) 柴崎博行「オリーブ葉の乾燥条件の検討」『農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター研究報告』18, 85-87, 2018

研 究 ノ ー ト

活性酸素によるナノバブルの殺菌効果

山口政人¹、渡部芳彦¹、馬 騰²、但木大介²、
金高弘恭²、平野愛弓²、庭野道夫¹

¹東北福祉大学 ²東北大学

要旨

大腸菌をモデル細菌として用いてナノバブル（NB）の殺菌活性を調べた。ナノバブルは、ナノスケールの直孔を規則的に配列させた多孔質アルミナ膜を用いて作製した。ナノバブルの殺菌活性を評価するために、NB 懸濁液中に細菌を留置した。殺菌活性は、細菌培地上にコロニー化した生細胞の数から求めた生存率で推定した。二酸化炭素（CO₂）、酸素（O₂）、窒素（N₂）の3種類のガスを含むNB水に曝露した場合の細菌の生存率を調べた結果、CO₂を含むNB水に曝露すると細菌の生存率が有意に低下することがわかった。酸素ガス、窒素ガスを含むNB水に曝露しても、有意な殺菌効果は認められなかった。O₂NB水に曝露した場合には、大腸菌の増殖が観察された。NB懸濁液中の活性酸素の発生を電子スピン共鳴分光法（ESR）で調べた。その結果、NB懸濁液中に発生する活性酸素の主なものは水酸基ラジカル（OH・）であり、活性酸素の発生はCO₂NB水の場合に最も強く、殺菌効果測定の結果と一致することがわかった。

キーワード：殺菌作用、バルクナノバブル、大腸菌、活性酸素

1. 緒言

医薬品や食品の製造工程を始め、医療施設や福祉施設の環境管理において、水や空気を清潔に維持することは安全管理、健康管理、生命維持の観点から必要不可欠なプロセスである。特に微生物の混入を阻止するための滅菌や殺菌、消毒というような処理工程は重要であり、作業者の負担の度合い、健康管理、コスト面からも現場の条件に見合うものであることが望ましくこれらの技術開発は常に求められている。

滅菌法や殺菌法には様々なものがあり、芽胞菌の殺滅を目的とした高圧蒸気滅菌のほか、一般的な加熱殺菌もある。また非加熱殺菌として、紫外線やオゾンランプの照射による殺菌、次亜塩素酸などの薬品による殺菌など用途に合わせた方法がある。食品を長期間保存するための、微生物制御法としては紫外線殺菌法や次亜塩素酸とオゾンによる化学法などがよく用いられている。紫外線やオゾンランプを用いる非加熱殺菌法は、コスト面では優れているが、UV-C領域と言われる254nmや185nm付近の紫外線を使用している。これは強力な殺菌効果を示すため、医療環境を始め、理工学生命科学の研究分野、食品製造の分野などで使用されている。しかし人体に有害とされる320nm以下の波長であるため、取り扱いには注意を要する。化学薬品においては、人体に使用できるものとできないもの、使用時に適正な濃度調整が必要であること、揮発性タイプのもの、刺激臭のものなど様々であり、取り扱いに注意を要し、準備や事後処理等の作業面から煩雑である。即ち、紫外線殺菌法は紫外線が人体に有害であり、また化学法は殺菌過程で副生成物を生成するなどの欠点もある。我々は、以前に酸化チタンナノチューブ薄膜の光触媒機能を用いた大腸菌の殺菌作用について報告した^{1,2)}。薬剤が不要である点で有利であるが、紫外線照射を必要とするなど、実際の医療環境で使用するには装置の準備などやや煩雑である。そこで本研究では、より簡便

な殺菌法であるナノバブルを用いた殺菌法を検討した。

近年、新たな殺菌技術としてマイクロバブル（以下 MB）による殺菌法が注目されている。しかし、MB の殺菌効果の作用機序については未解明のままである。マイクロバブルの殺菌メカニズムについては、気泡が外力で崩壊された際に生成した衝撃波によるとする解釈^{3,4)} や、あるいはフリーラジカルが菌体を破壊するという解釈^{5,6)} などがある。また、MB とオゾンを用いた場合には、MB がオゾンの分解速度を高め、水酸基ラジカル ($\text{OH}\cdot$) の生成を促進する効果があると考えられている^{7,8)}。本研究では MB よりさらに粒径が小さいナノバブル (Nanobubble: NB) を用いた殺菌効果を明らかにすることを目的とした。

NB は直径 1 μm 未満の球状の泡である。NB は非常に長い寿命、高密度の表面電荷などのユニークな特性を持ち、水処理⁹⁾、表面洗浄¹⁰⁻¹²⁾、殺菌¹³⁾ など様々な用途において NB には大きな可能性がある¹⁴⁾。しかしながらその一方で、NB の基本的な特性や様々な応用における NB の効果の作用機序については完全には理解されていない。また、NB の長期安定性には様々な理論的根拠が提案されているが、その安定性の起源はまだ完全には理解されていない。

NB を生成する方法として幾つかの方法が提案されている¹⁴⁾。我々は、多孔質アルミナ薄膜にガス圧を加えることにより、NB を生成する簡単な手法（細孔加圧法）を提案した¹⁵⁾。ガスフィルターとして使用した多孔質アルミナ膜は、陽極酸化によって形成した。このフィルムには、内径が約 100 nm の、まっすぐに規則正しく密に詰まったナノホールがある。多孔質アルミナナノホールからガスが水中に押し出されると NB が形成され、また、多孔質アルミナ薄膜のナノホールサイズが比較的均一であるため、粒径の揃った NB が形成される。この方法の利点は、希ガスを含む様々な種類のガスを含む NB を簡単に形成できることである。この利点を生かして、本研究でも様々なガスを内包した NB の殺菌効果について網羅的に調べることができた。

本稿では、第 2 節で実験方法を、第 3 節で実験結果と考察、そして最終節でこれまでの総括と今後の課題について述べる。

2. 実験方法

2.1 NB 生成法

本研究で NB 発生に使用される多孔質アルミナ膜は、陽極酸化によって形成した。陽極酸化法とは、電解液に浸した金属を陽極、対極を陰極として、両者間に電圧を印加することで多孔質酸化皮膜を形成する電気化学的手法である²⁾。この手法で形成される多孔質酸化被膜として最も典型的な例がポーラスアルミナ (Al_2O_3) である。ポーラスアルミナはセルと呼ばれるナノスケールのチューブ状の酸化物の集合体であり^{16,17)}、この特異的なナノ構造により、他の材料にない様々な特徴を有している。アルマイトの薬缶やアルミサッシの表面は、陽極酸化法によりポーラスアルミナの不動態膜（保護膜）を形成して腐食を防いでいる。アルミサッシが鈍い白色を呈しているのは、このナノスケールのポーラスアルミナが表面を覆っているためである。

我々は、Fig. 1 に模式的に示すように、多孔質アルミナ薄膜にガス圧を加えることにより、NB を生成する簡単な手法を提案する。ガスフィルターとして使用した多孔質アルミナ膜は、陽極酸化によって形成した。このフィルムには、Fig. 1 の右側に示すように、内径が約 100 nm の、まっすぐに規則正しく密に詰まったナノホールがある。多孔質アルミナナノホールからガスが水に押し出されるとバルク NB が形成され、また、多孔質アルミナ薄膜のナノホールサイズが比較的均一であるため、粒径の揃った NB が形成されることが期待される。この方法の利点は、希ガスを含む多様な種類のガスを含む NB を簡単に形成できることである。Fig. 2 に NB 発生器の構造を示す。発生器の中央部に 15mm 径のアルミ板が装着されて

いる。アルミ板の中心部には陽極酸化で形成した5 mm 径のポーラスアルミナ膜がある。この膜に下方から1.5～2気圧のガス圧を印加し、膜上部の水の中にNBを発泡させる構造になっている。

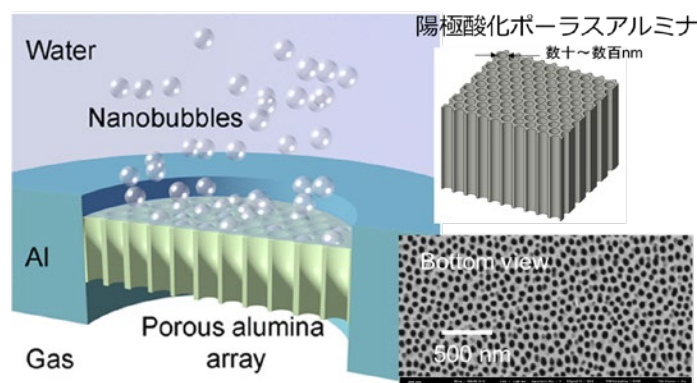


Fig. 1 微細孔式ナノバブル（NB）発生法. 多孔質アルミナ薄膜に下方から1.5気圧程度のガス圧を加えることにより、膜の上部の水の中にNBを生成する。

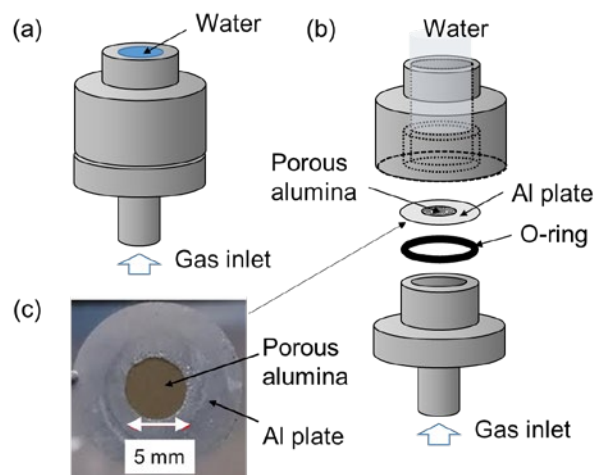


Fig. 2 NB 発生器. (a) 全体図、(b) 分解図、(c) 多孔質アルミナ薄膜板。発生器の中央部に装着した多孔質アルミナ薄膜に下方から圧縮ガスで加圧し、薄膜の上部の水の中に発泡させる。

2. 2 NB 粒径解析法

最近ナノ粒子の粒径や濃度を分析する手法として幅広く活用されている方法がナノ粒子トラッキング解析法（NTA 法）である。その名の示す通り、ナノ粒子の軌跡の分析から粒径や濃度を計測する手法である。よく知られるように、ナノ粒子混濁液中のナノ粒子は水分子の衝突を受けて、いわゆるブラウン運動を行う。アインシュタインはこのブラウン運動の軌跡の解析から分子の存在を実証できることを予言し、その後ジャン・ペランがその予測の下に実験を行い^{18,19)}、デモクリトスの時代から謎であった原子や分子の存在を初めて明らかにした。NTA 法では、Fig. 3 (a) に示すように、液体中のナノ粒子のブラウン運動の軌跡を、紫外レーザー光の散乱を顕微鏡で捉えることにより動画として記録し、得られた動画から一定時間内に動いた距離から、下記のアインシュタイン - ストークスの式に則りナノ粒子の粒径 r を算出する。

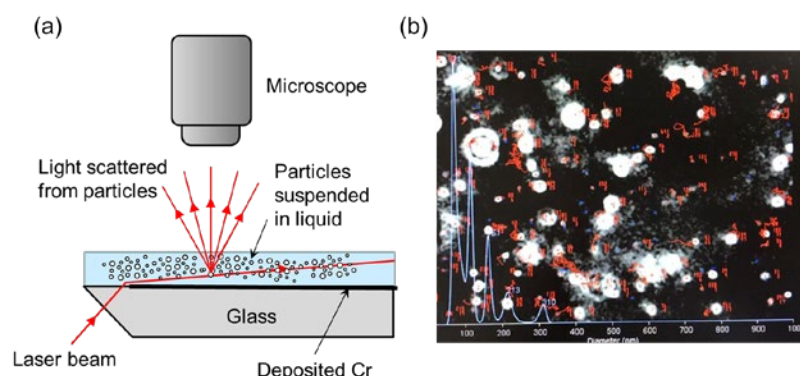


Fig. 3 (a) ナノ粒子トラッキング解析 (NTA) 法. (b) 水の中の NB のブラウン運動の軌跡.

$$r = \frac{4 k_B T}{6 \pi \eta (x^2 + y^2)}$$

ここで、 η は水の粘性係数、 k_B はボルツマン定数、 t は軌跡を追跡する時間、 T は絶対温度である。Fig. 3 (b) はナノバブルの散乱光の画像である。散乱光は粒子の粒径が大きいほど強くなるため、明るい輝点は動きが鈍く、暗い輝点は粒径が小さいために激しいブラウン運動を行う。

2. 3 抗菌活性試験法

試験に用いた細菌は大腸菌 *Escherichia coli* ATCC8739 (Microbiologics, Inc.) とした。予め LB Broth (NIPPON Genetics) で培養し、一定菌量 (約 4×10^3 CFU/mL) になるよう滅菌蒸留水で希釈した。一般的に殺菌性能評価試験においての試験菌液は $10^5 \sim 10^7$ CFU/mL に調整することが多いが、今回、菌数測定に用いた培地が、簡易検査培地のペトリフィルム大腸菌測定用 EC プレート (3 M) であるため、メーカーが推奨する測定菌数の上限値に合わせて調製した。この菌液の一定量を二酸化炭素内包 NB 水 (CO₂NB 水) (ホウケイ酸ガラス製バイアル瓶に入れたもの) に添加し、室温 ($24 \pm 2^\circ\text{C}$) で放置した。一定時間ごとに $50 \mu\text{l}$ を採取し、ペトリフィルム EC プレートに塗布し、 35°C 、24時間インキュベーター内で留置した。その後、ペトリフィルム上に認められた菌数を計測した (Fig. 4)。対照実験では、CO₂NB 水の代わりに滅菌蒸留水を用いて同一条件下で試験した。大腸菌の生存率については、一定時間後のペトリフィルム上に認められた菌数を対象実験の菌数で割った値を百分率 (%) で表した。Fig. 5 に、NB 水放置前後の簡易培地のコロニー数の変化を示す。この図は、CO₂NB 水に入れた場合の結果であり、菌数が減少していることが分かる。

3. 実験結果と考察

3. 1 NB の粒径分布

Fig. 2 に示した NB 発生器を使用して純水の中に発泡し、NB 懸濁液を作製した。その NB 懸濁液 (「NB 水」と呼ぶ) の中に分散している NB の粒径分布を NTA 法で計測した。CO₂ ガス注入により作製した NB 水の中の NB の典型的な粒径分布を Fig. 6 (a) に示す。図に示された 2 つの分布プロファイルは、NB 水の 2 つの異なる場所からサンプリングされたものである。Fig. 6 (a) から、NB の粒径が $50 \sim 200$ nm の範囲にあり、気泡形成用のガスフィルターとして使用した多孔質アルミナ膜のナノホールの直径にほぼ等しいことが分かる。ただし、NB の粒径とナノホールの口径は完全に一致することはないと推測される。ナノホールから NB が放出されるときには、吹き出し口の気泡の大きさがナノホールの径より何倍か大きくなった時にアルミナ薄膜から剥離して NB となり、その後収縮して 100 nm 程度の大きさになる

と考えられる。この NB 生成の詳細なメカニズムについては、その解明は今後の研究課題である。

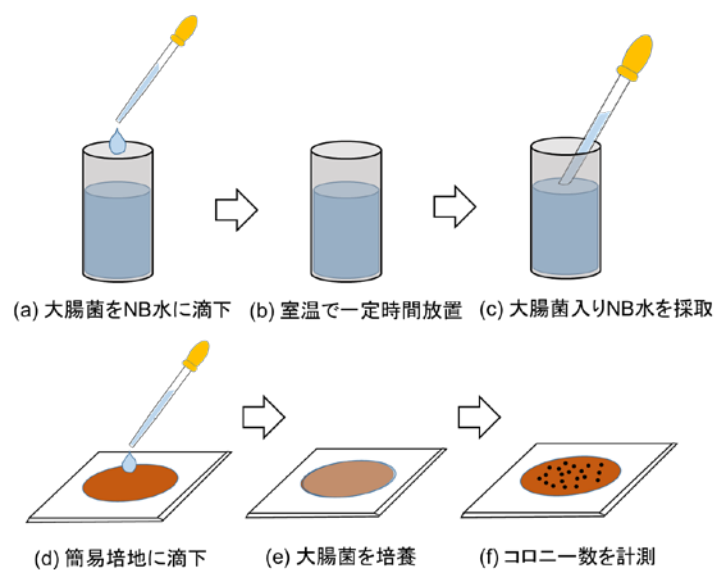


Fig. 4 抗菌活性試験法

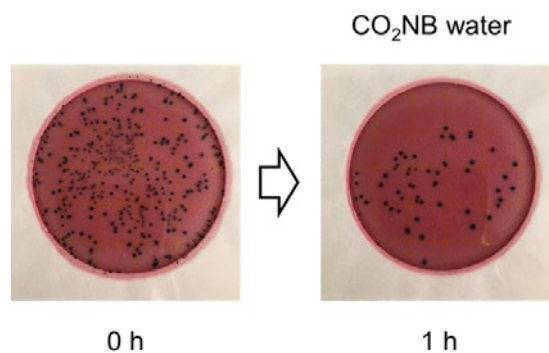


Fig. 5 大腸菌生存率計測法（二酸化炭素 NB の計測例）. NB 懸濁液中に大腸菌を一定時間留置後に簡易培地上に懸濁液を滴下し、培養後の菌数を計測した。

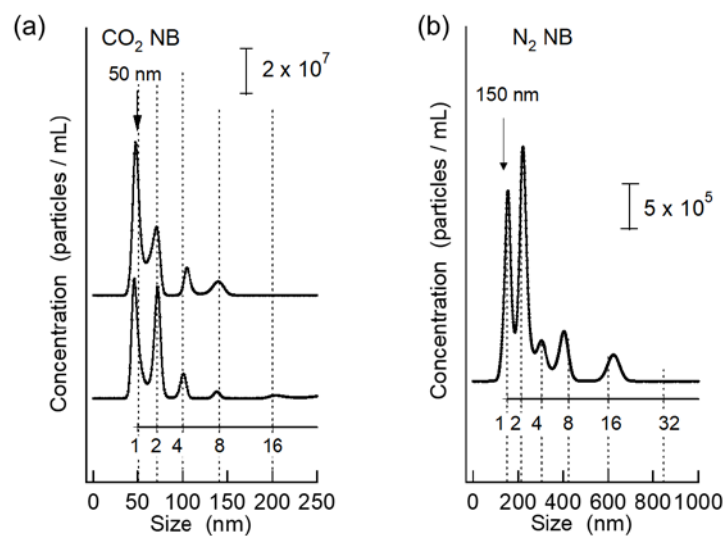


Fig. 6 (a) 二酸化炭素内包 NB と (b) 窒素内包 NB の粒径分布

Fig. 6 (a) の粒径分布をよく見ると、粒径の値が離散的になっている。即ち、ある決まった粒径のNBが存在する。この離散的な粒径のNBの生成は、同じ粒径の二つのNBが選択的に合体することによって解釈できる¹⁵⁾。このような合体が起きると、簡単な計算から隣同士の粒径の比は $\sqrt{2}$ となり、実際にFig. 6 (a) の粒径分布の粒径比は $\sqrt{2}$ になっている。図中に示された1、2、4、・・・の番号は、最小粒径のNBが何個合体したかを示した数である。32個分合体したNBが観測されている。

CO₂以外のガスについてもこの方法でNBの粒径分布を計測した。Fig. 6 (b) は窒素ガス(N₂)を用いて生成したNBの粒径分布を示す。酸素の場合もほぼ同じ粒径分布を示した。二酸化炭素に比べて粒径はやや大きい100 nm程度の粒径のNBが生成できていることがわかる。二酸化酸素の場合に粒径が小さくなるのは、二酸化炭素の水に対する溶解度が酸素や窒素などに比べて二桁程度大きいことが原因している¹⁵⁾。

本研究では、このような100 nm程の粒径のNBが大腸菌にどのような影響を及ぼすかを調べた。これまでにマイクロバブルを用いた殺菌効果の研究はあるが、ナノバブルの殺菌効果の研究は殆どない。しかも、粒径をある程度揃えたナノバブルについては殆ど報告がない。

3. 2 NB水が大腸菌に与える殺菌作用

大腸菌をNB水と蒸留水にそれぞれ留置した試料について、時間の経過と共に変化する大腸菌の増殖の度合いを簡易培地上の大腸菌のコロニー数の計測から調べた。まず、二酸化炭素NBを用いた結果をFig. 7 (a) に示す。この図にはNB水と滅菌蒸留水に1時間留置した場合の比較を示している。蒸留水に比べてNB水に留置した場合の方が、コロニー数が大きく減少していることが分かる。この結果は、CO₂NB水が大腸菌に対する殺菌作用があることを示している。

一方、酸素ガス内包NB水(O₂NB水)に留置した場合についてはFig. 7 (b) に示すように、蒸留水中に比べて大腸菌の不活性化が進まず、逆に増殖している場合も観測された。酸素NB水の場合には、大腸菌の増殖を活発化する作用があることを示している。酸素NB水から供給される酸素ガスによって大腸菌の代謝が高まると推測している。N₂NB水の場合には、殺菌作用が認められたが、留置時間が長くなるとやや増殖する傾向が見られた。詳細については次項で述べる。

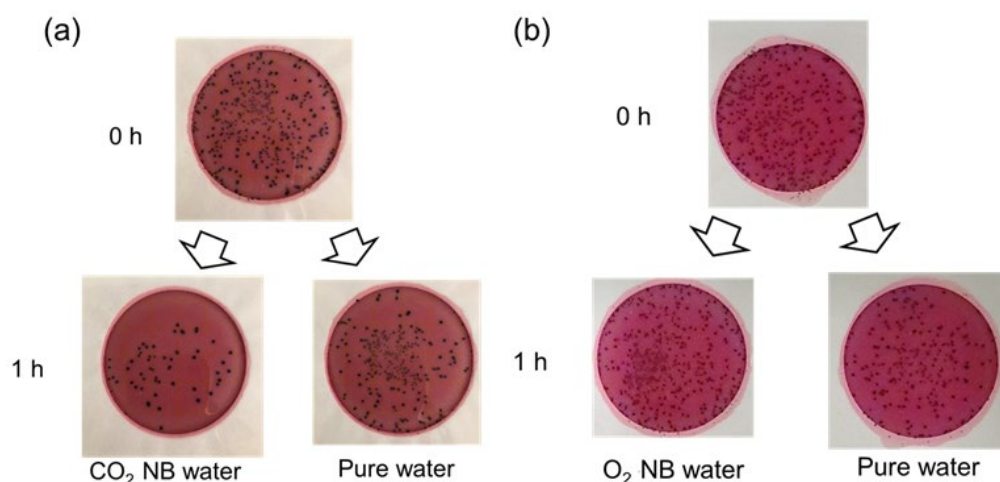


Fig. 7 (a) CO₂NB水と (b) O₂NB水に1時間留置した大腸菌の簡易培地上のコロニー数の変化.

3. 3 NB 水中の大腸菌の生存率の時間依存性

大腸菌を CO_2 NB 水と蒸留水にそれぞれ留置して、時間の経過に伴う大腸菌の生存率の変化を調べた結果を Fig. 8 (a) に示す。7～8 回測定した結果の中から典型的な測定結果の 2 例を示す。蒸留水に留置した場合には、生存率は時間の経過と共に減少し、その減衰はほぼ指数関数的である。一方、NB 水に留置した場合には、留置の初期段階で急激に減少して、その後は蒸留水の場合と同様に、ほぼ指数関数的に減少している。この結果から NB の殺菌効果は、大腸菌が NB 水に接触した比較的短時間のうちに発揮されると推測される。今回の生存率評価の実験は、ある限られた数の NB の中に大腸菌が浮遊しているという条件で行った。従って、大腸菌の増殖抑制に有効な殺菌成分が留置初期の段階で消費されたと推測される。ここでは詳細は述べないが、この仮定によるシミュレーションを行った結果、生存率の時間変化をほぼ再現した。その結果については他所で報告する予定である。

O_2 NB 水と N_2 NB 水について生存率の時間変化を測定した結果をそれぞれ Fig. 8 (b) と Fig. 8 (c) に示す。二酸化炭素の場合と同様に、それぞれ 7～8 回測定した結果の中から典型的な測定結果 2 例を示す。 O_2 NB 水の場合には生存率が殆ど変化しない、あるいはむしろ若干増加している。前述の通り、生存率が増加するあるいは変化しない原因は、 O_2 NB 水から放出される酸素ガスが大腸菌を活性化するためと思われる。 N_2 NB 水の場合には、 CO_2 NB 水と O_2 NB 水の場合の中間の変化を示している。NB 留置初期段階では生存率は減少するが、その後増加している。生存率減少の原因は殺菌成分に依ると考えてよい。一方、生存率が増加する要因は酸素ではなく、他の活性化成分によると考えられる。一つの可能性は窒素由来の一酸化窒素 (NO) である。NO は殺菌作用があるばかりでなく、細胞内感染防御の働きもあるとされている²⁰⁾。 N_2 NB が大腸菌に吸着した時にバブルが破裂するなり合体するなりした時に、周りの水分子と反応して NO が生成され、生成された NO が殺菌や活性化をもたらした可能性がある。しかし、現時点で NO が生成されたことを示す実験結果は得られていない。 N_2 NB の殺菌あるいは活性化作用についても今後の研究課題である。

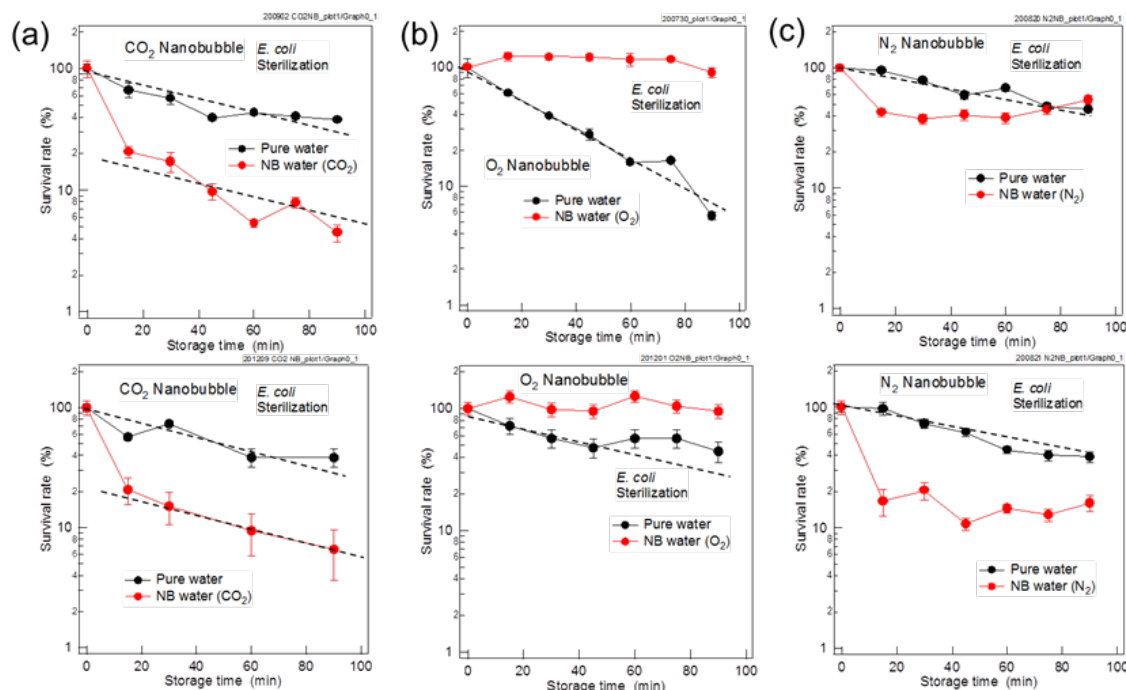


Fig. 8 (a) CO_2 NB 水、(b) O_2 NB 水と (c) N_2 NB 水に留置した大腸菌の生存率の留置時間依存性。

3. 4 NB 水中の活性酸素種

NB 水の殺菌作用の原因を調べるために、電子スピン共鳴法 (ESR) を用いて NB 水のラジカル種の測定を行った。この手法は不対電子を検出する分光法の一つであり、遷移金属イオンもしくは有機化合物中のフリーラジカルの検出に幅広く用いられる。我々は、以前に、酸化チタン薄膜の光触媒機能による殺菌効果の原因をこの手法を用いて調べ、殺菌作用が水酸基ラジカル ($\text{OH}\cdot$) によることを明らかにしている²⁾。

Fig. 9 に CO_2 NB 水、 O_2 NB 水の ESR スペクトルを示す。比較のために、酸化チタンの光照射で生成された $\text{OH}\cdot$ の ESR スペクトル²⁾ も併せて示している。この図から、 CO_2 NB 水に $\text{OH}\cdot$ が生成していることがわかる。 O_2 NB 水にも僅かであるが $\text{OH}\cdot$ が生成されているが、 CO_2 NB 水と比べると量的には少ない。 $\text{OH}\cdot$ は酸化チタン光触媒作用で見られたように強い殺菌効果がある。従って、 CO_2 NB 水で観測された殺菌作用は、主にこの $\text{OH}\cdot$ に起因していると推測できる。 O_2 NB 水で安定した殺菌作用が観測できなかったことも、十分な水酸基ラジカルが生成されなかったことが原因と思われる。

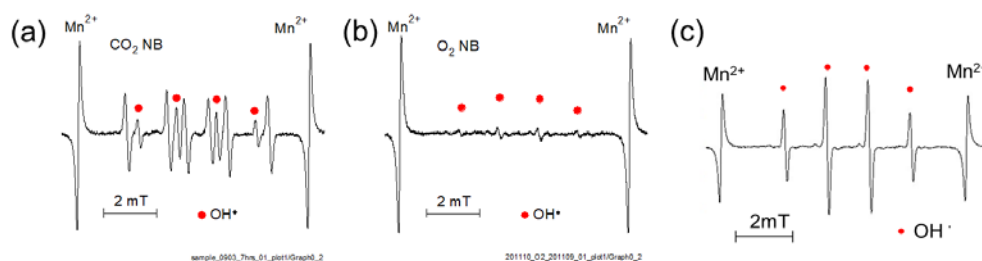


Fig. 9 (a) CO_2 NB 水と (b) O_2 NB 水の ESR スペクトル. (c) は酸化チタン光触媒で生成された活性酸素の ESR スペクトル.

CO_2 NB 水の場合に $\text{OH}\cdot$ が生成された理由については、今のところ明確な原因は特定できないが、一つの可能性として、二酸化炭素 NB の場合の反応性の高さが原因していると思われる。Fig. 9 の CO_2 NB 水の ESR スペクトルを見ると、酸化チタン光触媒の場合のスペクトルに現れていないサイドピークが現れている。これらのピークは ESR 測定に用いたトラップ剤の分解によると考えられる。このことは、 CO_2 NB が分子と会合した時に様々な反応生成物やラジカルが生成されやすいことを示している。 CO_2 NB 中の内包ガスの圧力は一説によると10気圧程度である。そのような高圧の NB が破裂すると二酸化炭素と水分子が反応して $\text{OH}\cdot$ が生成される可能性は十分にある。

4. 結言

モデル細菌である大腸菌を用いてナノバブル (NB) の殺菌活性を調べた。NB は、ナノスケールの直孔を規則的に配列させた多孔質アルミナ膜を用いて作製した。NB の殺菌活性を評価するために、NB 懸濁液中に細菌を留置し、殺菌活性は、細菌培地上にコロニー化した生細胞の数に由来する生存率で推定した。 CO_2 、 O_2 、 N_2 の3種類のガスを含む NB に曝露した場合の細菌の生存率を調べた。その結果、 CO_2 を含む NB 水に曝露することにより、細菌の生存率が有意に低下することがわかった。酸素、窒素ガスを含む NB 水には、有意な殺菌効果は認められなかった。 O_2 NB 水に曝露した場合には、大腸菌の増殖が観察された。NB 懸濁液中の活性酸素の発生を ESR 分光法で調べた結果、NB 懸濁液中に発生する活性酸素の主なものは水酸基ラジカル ($\text{OH}\cdot$) であり、活性酸素の発生は CO_2 NB 水の場合に最も強く、抗菌活性試験の結果と符合した。

今後は NB 水の殺菌作用の応用を追究すべく他の細菌種による殺菌効果を調べると共に殺菌機構を解明

したい。現在介護の現場で多用されている、次亜塩素酸による消毒は強力であるが、人体に与える影響は大きいため、薬液を用いない殺菌法は今後重要になる。ナノバブルを用いた殺菌法は今後活用が期待される。また、最近の研究から加湿器から噴霧されるミストにナノバブルが含まれていることが分かった。加湿器から放出されるナノバブル水を用いることができれば、幅広い分野で応用できる。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費基盤研究（B）（18H01874 研究代表者 庭野道夫）及び東北福祉大学感性福祉研究所において文部科学省の施設運営支援の助成を得て行なわれた研究プロジェクト『3.11を契機とする地域の健康福祉システムの再構築 -「集中復興期間」後の展開』の研究成果である。

参考文献

- 1) 山口政人, 阿部宏之, 馬 騰, 庭野道夫「酸化チタンナノチューブ薄膜の光触媒能による殺菌作用」『感性福祉研究所年報』20, 113-121, 2019
- 2) Masato Yamaguchi, Hiroyuki Abe, Teng Ma, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata, Hiroyasu Kanetaka, Yoshihiko Watanabe, and Michio Niwano, "Bactericidal Activity of TiO₂ Nanotube Thin Films on Si by Photocatalytic Generation of Active Oxygen Species," *Langmuir* 36, 12668–12677, 2020
- 3) Jyoti, K. K. and A. B. Pandit; "Ozone and Cavitation for Water Disinfection," *Biochem. Eng. J.*, 18, 9–19, 2004
- 4) Sawant, S. S., A. C. Anil, V. Krishnamurthy, C. Gaonkar, J. Kolwalkar, L.Khandeparker, D. Desai, A. V. Mahulkar, V. V. Rande and A. B. Pandit; "Effect of Hydrodynamic Cavitation on Zooplankton: A Tool for Disinfection," *Biochem. Eng. J.*, 42, 320–328, 2008
- 5) Bancroft, K., P. Chrostowski, R. L. Wright and I. Suffet; "Ozonation and Oxidation Competition Values." *Water Res.*, 18, 473–478, 1984
- 6) Takahashi, M., K. Chiba and P. Li; "Free-Radical Generation from Collapsing Microbubbles in the Absence of a Dynamic Stimulus," *J. Phys. Chem. B*, 111, 1343–1347, 2007
- 7) Takahashi, M., K. Chiba and P. Li; "Formation of Hydroxyl Radicals by Collapsing Ozone Microbubbles under Strongly Acidic Conditions," *J. Phys. Chem. B*, 111, 11443–11446, 2007
- 8) Chu, L. B., S. T. Yan, X. H. Xing, A. F. Yu, X. L. Sun and B. Jurcik; "Enhanced Sludge Solubilization by Microbubble Ozonation," *Chemosphere*, 72, 205–212, 2008
- 9) A. Agarwal, W.J. Ng, Y. Liu, "Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment", *Chemosphere*, 84, 1175-1180, 2011
- 10) Z. Wu, H. Chen, Y. Dong, H. Mao, J. Sun, S. Chen, V.S.J. Craig, J. Hu, "Cleaning using nanobubbles: Defouling by electrochemical generation of bubbles", *J. Colloid Interface Sci.* 328, 10-14, 2008
- 11) S. Yang and A. Duisterwinkel, "Removal of nanoparticles from plain and patterned surfaces using nanobubbles", *Langmuir* 27, 11430-11435, 2011
- 12) M. Takahashi, H. Ishikawa, T. Asano, H. Horibe, "Effect of microbubbles on ozonized water for photoresist removal", *J. Phys. Chem. C* 116, 12578-12583, 2012
- 13) S. Hayakumo, S. Arakawa, M. Takahashi, K. Kondo, Y. Mano, and Y. Izumi, "Effects of ozone nanobubble water on periodontopathic bacteria and oral cells – in vitro studies", *Sci. Technol. Adv. Mater.* 15, 055003, 2014

- 14) 寺坂宏一, 氷室昭三, 安藤景太, 秦隆志『ファインバブル入門』(ファインバブル学会連合編), 日刊工業新聞社, 2016
- 15) Teng Ma, Yasuo Kimura, Hideaki Yamamoto, Xingyao Feng, Ayumi Hirano-Iwata and Michio Niwano, "Characterization of Bulk Nanobubbles Formed by Using a Porous Alumina Film with Ordered Nanopores," *J. Phys. Chem. B*, 124, 5067–5072, 2020
- 16) H. Shiraki, Y. Kimura, H. Ishii, S. Ono, K. Itaya, and M. Niwano, "Investigation of formation process of an anodic porous alumina film on a silicon substrate", *Appl. Surf. Sci.* 237, 369-373, 2004
- 17) A. Hirano-Iwata, T. Taira, A. Oshima, Y. Kimura, and M. Niwano, "Improved stability of free-standing lipid bilayers based on nanoporous alumina films", *Appl. Phys. Lett.* 96, 213706, 2010
- 18) ジャン・ペラン著, 玉蟲文一訳『原子』, 岩波文庫, 1978.
- 19) 江沢洋『だれが原子を見たか』岩波現代文庫, 2013
- 20) Takaaki Akaike, Tatsuya Okamoto, Md Hasan Zaki, Shigemoto Fujii, and Tomohiro Sawa, "New paradigm of host defense against intracellular pathogens by nitric oxide (in Japanese)," *Jpn. J. Leprosy* 78, 41-47, 2009

研究ノート

SfM を活用した樹高測定の可能性

岩田一樹

東北福祉大学

要旨

本稿では、SfM 手法を用いた三次元モデル作成を通して、東北福祉大学 国見ヶ丘キャンパスのオリーブ畑において栽培されているオリーブの幼木の樹高の測定を行った結果を報告する。我々は、以前にも同様の試みを行ったが、その際は、作成された三次元モデルにおいて幼木が再現されず、樹高の測定が不可能であった。そこで、本報告においては、SfM を適用する前に画像に Ground Control Point を設定し、その後にモデル化を行った。それにより、モデリング精度が改善し、幼木が再現され、樹高測定が可能となった。そして、測定された幼木の樹高の誤差は10% であった。

キーワード : SfM、測量、三次元モデリング

緒言

林野庁は、平成11年度から『森林は、国土の保全、水源の涵養、生物多様性の保全、地球温暖化防止等の多面的機能の発揮を通じて、国民が安全で安心して暮らせる社会の実現や、木材等の林産物の供給源として地域の経済活動と深く結びつくなど、様々な働きを通じて私たちの暮らしを支える大切な存在であり、無秩序な森林の伐採や開発は、森林の荒廃を招き、山崩れや風水害等による災害を発生させる原因となる。また、無計画な伐採は森林資源を減少させ、安定的な林産物供給の面でも大きな支障をきたすおそれもある。しかも、森林の造成には超長期の年月を要することから、一旦このような状態になってから森林の機能の回復を図ることは容易でなく、国民経済に大きな影響を及ぼす。そのため、長期的な視点に立った計画的かつ適切な森林の取扱いを推進することが必要である』として、森林法における森林計画制度の一環として、「森林生態系多様性基礎調査」を実施している。

この調査は長期的な視点に立った計画的、かつ、適切な森林の取扱いを推進するために、森林の状態とその変化の動向を、全国統一した手法に基づき把握・評価しており、それを5年で全国を一巡するサイクルで実施されている。確かに、この調査は森林経営の推進、および、森林整備に必要な客観的資料を得るために重要な調査であるが、樹高の測量や木の種類の特定などに費やす人的資源のコストが高すぎる課題がある。同様の課題は、森林生態系多様性基礎調査に限らず、今後、少子高齢化が進み、林業を生業とする者の減少も背景に、今後、深刻になっていくと考えられる。

その課題を解決するために、近年では、ドローンを用いた写真からの三次元測量が注目されている。ここで、ドローンとは、無人で遠隔操作や自動制御によって飛行できる航空機の総称であり、「人が乗ることができない飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの」²⁾と定義される。なお、同じカテゴリに属するものに、ラジコン機や農薬散布用ヘリコプタがある。

樹木の測量にドローンを活用した例には、齋藤 らの研究がある。彼らはドローンにより空撮した写真

と後述する Structure from Motion (SfM) 技術による三次元モデリング、および、深層学習を用いて、ヤナギの木の樹高、および、写真中からのヤナギの木の検出を行っている³⁾。

そのドローン市場の成長は著しく、2018年度の国内のドローンビジネス市場規模は2017年と比べて85%増の931億円に達し、503億円から428億円増加している。さらに、2019年度には、前年度比56%増の1,450億円に拡大し、今後、2024年度には5,073億円に達すると見込まれている⁴⁾。そして、今後の成長が見込まれている利用分野には、土木測量や設備点検、災害調査、農業分野などがあげられる。特に、農業分野においては、農薬の散布や農作物の育成管理の自動化・効率化への応用が期待されており、また、ドローンはプログラミングによる自動操縦も可能であることから、その活用によって、農業における人手不足の課題解決の一助になると考えられる。

その育成管理について注目すると、それに必要不可欠な情報の中に農作物の成長計測がある。そして、成長を管理するには、栽培植物の背の高さの測定が必要となる。しかし、先行研究において、植物の高さの測定は樹高に限られており、樹高測定においては、対象物が大きいため、オブジェクトの認識自体は容易であるため三次元モデリングは行いやすく、また、撮影は60mを超える高い高度で行われる。一方、農産物においては、対象となる植物の背丈は比較的低く、また、細身であることから、低高度での撮影が必要であり、SfM 手法を用いての三次元モデリングが困難である可能性がある。実際、2019年10月に我々が東北福祉大学 国見ヶ丘キャンパスのオリーブ畑において、ドローン (Phantom 4⁵⁾) を用いて約200枚の画像の空撮を行い、オリーブ幼木の樹高測定を試みた。当時の三次元モデル作成は Fig. 1 に示す通り、幼木が植えられている畝のモデリングは出来たものの、肝心の幼木の三次元モデルの作成は出来なかった。

本稿においては、上記の三次元モデル作成に失敗した画像データを再び使用し、新たな分析手法を適用することによって、同じデータからオリーブの幼木の三次元モデリングを可能とし、樹高の測定が可能となったので、それについて報告する。



Fig. 1 GCP を用いずに三次元モデリングされたオリーブ畑

研究方法

Structure from Motion (SfM)

本稿において、三次元モデルの生成には Structure From Motion (SfM) を用いる。SfM は、複数の二次元画像データから三次元モデルを構築する手法である。当然のことではあるが、二次元の画像 (写真) には三次元空間を反映した様々な情報が含まれる。そして、その画像に含まれた情報から三次元の立体を

得る方法がいくつか提案されている。例えば、影を用いる方法（Shape from Shading⁶⁾）や、ピントを利用する用いる方法（Shape from Defocus⁷⁾）などがあり、これらをまとめたものが Shape from X という概念である。その中で、移動（Motion）するカメラから得られる画像から形状を復元するのが SfM（Shape from Motion⁸⁾）である。

この SfM と呼ばれる手法は、コンピュータビジョンやロボットビジョンを起源とするもので、撮影に用いたカメラの位置、角度、および、撮影対象の座標（緯度、経度、高度）を取得していた場合は写真測量における空中三角測量と一致する。ただし、SfM は基本的にセンサやコンピュータを用いて外界の情報を把握し、その情報を元にして測量することにある。すなわち、明確な定義はなされていないが、少なくとも SfM にカメラの位置や対象の座標などを自動的に取得することを前提としている。この点が、これらの情報全てを人が取得することを前提としている空中三角測量とは異なる。

その自動処理を可能にするために、SfM においては、GPS などのセンサ、および、複数の画像を利用することで、その複数画像間の対応を求めるために必要な情報を局所特微量により抽出する。そして、その情報を元にして、立体を復元する。これが SfM による三次元モデリングである。そのため、SfM が対象とできる被写体には模様やパターンが分布している必要があり、そうでないと、複数画像の対応を求めるために必要な局所特微量を取得できず、三次元モデル製作や測量を行うことが出来ない。したがって、SfM による測量や三次元モデリングが困難な具体例には光沢のある被写体が挙げられる。光沢のある被写体においては、複数の画像内に写っている輝きのある部分を局所特徴とコンピュータは認識する。しかし、その輝きの部分は、カメラの角度や位置でバラバラになってしまうため、複数の画像間における対応関係の取得が困難となり、三次元の形状が復元できない。また、画像の撮影条件によっても処理が上手くいかない場合がある。例えば、撮影範囲が少ない場合、画像内に大きな水域が含まれている場合などがそれに該当する。SfM による三次元モデリング処理の具体的なイメージを Fig. 1 に示す。複数の画像から同一点を抽出するとともに、その点から GPS センサによって得られた撮影点（カメラ）までの距離などの情報を元にして、立体構造を復元している。

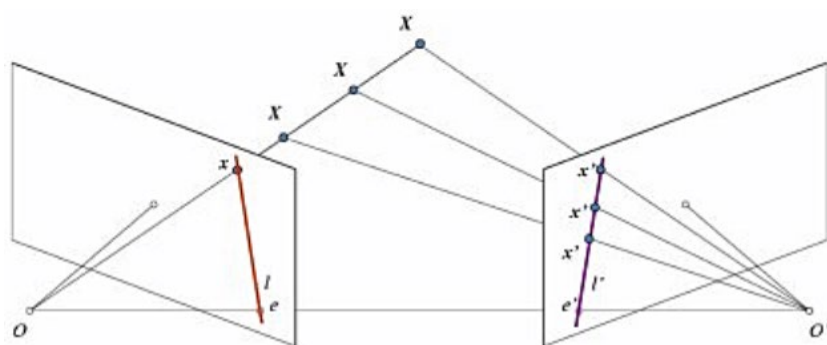


Fig. 2 SfM 処理のイメージ

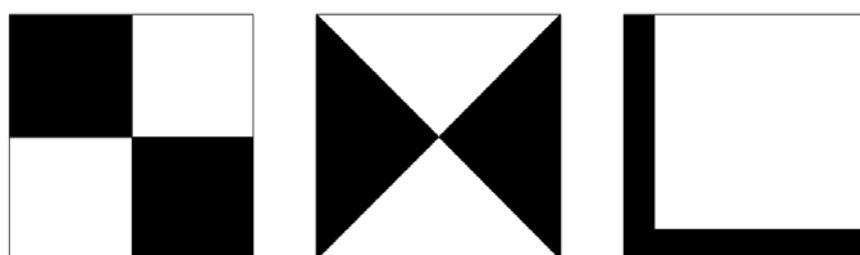


Fig. 3 代表的な GCP

Ground Control Point (GCP)

本稿で画像分析を行う際に新たに導入したのが、ここで記載する、Ground Control Point (GCP) である。GCP とは、画像で簡単に識別可能な既知の座標を持つポイントのことである。画像に GCP をマークすることで、画像を地上で測定されたポイントにリンクさせることが可能となる。これにより、撮影された画像の地理情報を直接的に参照し、結果の精度を高めることが可能となる。

ドローンによる空撮において用いられる GCP としては、人工のターゲット（大きな十文字やコントラストの高いチェッカー柄 (Fig. 3) など）か、または、高精度な計測機器で測量した自然の構造物がある。5カ所程度 GCP が設置するだけで、GCP を用いず GPS 情報のみを使用して行う測量と比較して、測量精度が格段に向上することがわかっている⁹⁾。

その GCP は、画像上で認識しやすいものであれ何でも構わないが、一般的には、チェッカー盤の一部を切り取ったような形状が用いられることが多い (Fig. 2)。その理由は、この形状であれば、画像中で GCP の地点を見失うことがないためである。また、コントラストが高いパターンの方が見分けやすいため、ほとんどの場合は白黒のパターンが用いられ、ポイントの測量は、従来の測量法やあるいは既存の地図 (Google earth も含む) を用いて行う。

本稿では、2019年10月における空撮時に人工的な GCP を配置しなかったため、偶然に複数の画像で撮影されていたドローンのケース、人の目で見えて地面のコントラストが大きく異なり同一の場所とわかる箇所を GCP として採用した。そのため、意図的に配置した GCP ほどは分析結果に影響を与えることは出来ないと推察される。しかし、これらの適切とは言えない GCP でもモデリング精度の向上に貢献することがわかれば、今後、より適切な GCP を用いることによって飛躍的な三次元モデリングの向上が期待できる。なお、GCP の座標は Google earth から取得した。

分析方法

SfM 分析処理には Agisoft 社製の Metashape¹⁰⁾ を用い、撮影された写真を整列する際に、分析する写真に GCP を設定した (Fig. 4)。それ以外の SfM 処理の流れは、GCP を打たずに分析した際と同じであり、一般的な分析手法を用いた¹¹⁾。

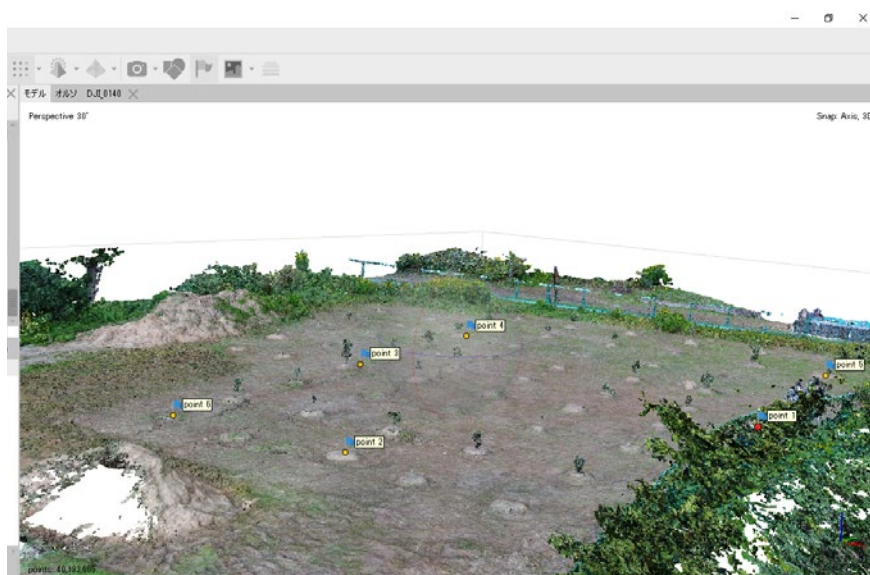


Fig. 4 GCP を配置した三次元モデル生成

結果

Fig. 4 の上の図はモデル生成をした結果である。なお、GCP は図の下方に写っている画像で設定している。Fig. 1 と Fig. 4 の結果を比較すると、モデルを写す角度が異なっているが、写っている幼木の数が Fig. 1 よりは多いことがわかる。なおモデルにおいて配置されているいくつかの丸が本稿において GCP を配置した場所である。

次に、Fig. 4 において生成されたモデルを用いて、樹高測定が可能であった幼木に対して、その樹高測定を行ったのが Fig. 5 である。モデルから得られるオリーブの幼木の大きさは 99.8 cm であり、実際に測定した樹高が 1.10m であったことから、その誤差は 10% 程度である。したがって、SfM 処理に GCP を利用することによって、三次元モデルの生成精度が向上し、ドローンの空撮画像から幼木の樹高測定が可能となったと考えられる。

しかし、未だ、オリーブの畑の幼木全てをモデリングできたわけではないことから、ドローンを用いた樹高測定、および、育成管理にはモデル作成の精度に課題を残している。今後、人工的な GCP を配置した撮影や、SfM のパラメータの最適化することで、モデル作成精度を向上させ、ドローンによる農作物の育成管理の実現を目指したい。

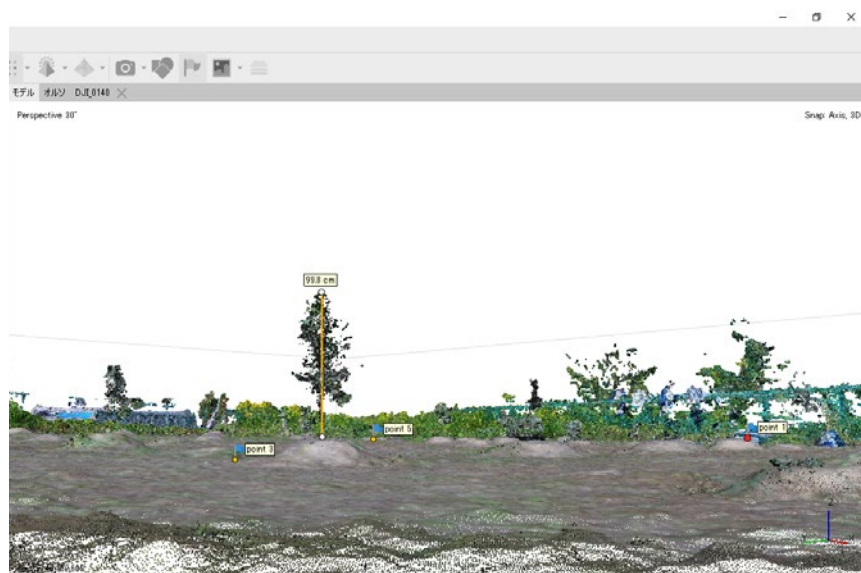


Fig. 5 三次元モデルからのオリーブの樹高測定

まとめ

本稿では、GCP を用いて過去の空撮画像を分析し直すことによって、三次元モデルの生成精度が向上することを示し、そのモデルから得られたオリーブの幼木の樹高を 10% 程度の誤差で測定可能であることを報告した。しかし、未だ植樹されている全てのオリーブのモデル化は出来ていない。今後、撮影や SfM 分析の最適化を通して、さらなる三次元モデル作成精度の向上を目指し、ドローンによる農作物の育成管理の実現を目指していきたい。

参考文献

- 1) 林野庁 | 森林生態系多様性基礎調査 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/tayouseichousa/index.html>
- 2) 『無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン』、国土交通省。

- 3) 齋藤正徳, 湧田雄基, 市川健, 天谷香織, 那須野新, 大石哲也, 池内幸司, 石川雄章, 『UAV 及び深層学習を用いた植生の自動判別による河道維持管理手法の開発』, 水工学会論文集, 74巻 4 号, pp829-834.
- 4) 『ドローンビジネス調査報告書2019』、インプレス総合研究所.
- 5) DJI 社 Phantom 4, <https://www.dji.com/jp/phantom-4/>
- 6) R. J. Woodham, "*Photometric method for determining surface orientation from multiple images*". Optical Engineerings 19, I, pp.139-144, (1980).
- 7) P. Favaro, and S. Stefano. "*A geometric approach to shape from defocus*." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 27.3, pp.406-417 (2005).
- 8) S. Ullman, "*The interpretation of structure from motion*", Proceedings of the Royal Society of London, 203, (1153), pp.405-426, (1979).
- 9) <https://www.pix4d.com/jp/blog/GCP-accuracy-drone-maps/>
- 10) Agisoft 社 Metashape, <https://www.agisoft.com/>
- 11) Metashape manual, https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf

研 究 ノ ー ト

ICT を活用した気象情報の取得 －網地島における気象情報－

岩田一樹、山口政人、庭野道夫

東北福祉大学

要旨

本稿では、2019年度に石巻市網地島に設置した気象観測装置を用いて収集した気象データについて、その値の信頼性の確認、オリーブの育成管理を想定したチュニジア、網地島、仙台市、石巻市との間での気象の比較結果、そして、風向データから得られる情報について報告する。具体的には、測定値の信頼性は気温、および、湿度とその他の気象データとの相関性の妥当性から検討した。また、気象データの比較においては、気象庁が公表しているチュニス、仙台市、および、石巻市の気象データと網地島での観測データの値を比較して検討を行った。そして、風向データから得られる情報では、取得した風向情報と観測装置の設置環境を比較することで、風向のデータから設置環境が予想可能であることを報告する。

キーワード：局所的気象情報、気象データ比較、気象情報データベース

緒言

近年、ビッグデータとしての気象データが注目を集めている¹⁾。気象データは基本的にオープンなデータであり、様々な種類のデータが公開されている²⁾。従来、気象データは災害対策へと活用されてきたが、最近ではそのみならず、例えば、気候変動をリスクとして扱い³⁾、それを金融商品（保険）として扱う気候デリバティブが登場している。具体的な気候デリバティブの例としては、花火大会を想定した場合に、花火大会が雨で中止になると、その開催を見込んで仕入れなどの準備を行った事業者が大損失を被ることになるが、そういった場合に備えた金融商品（保険）が気候デリバティブである。すなわち、花火大会の日に雨が降ると保険金が戻ってくる仕組みとなっている。このような金融商品が成立するためには、気象データの量と質が重要となることは明確である。

また、金融関係以外には、農業分野においても気象データは注目を集めている。例えば、気温と降雨量からの害虫発生予測や⁴⁾、日照量や二酸化炭素量、気温、水量の管理による農産物の生産・品質管理への活用などが期待されている⁵⁾。また、これらについて別の見方をすると、ビッグデータである気象データとIT (Information Technology)、IoT (Internet of Things)、機械学習や人工知能技術の組み合わせによって、これまで農業従事者の経験知や暗黙知を頼りに予測、育成管理がなされてきた農業生産について、その知を形式化し、その生産の効率化・普遍化を目指すものとも見て取れる。

一方、我々は、2018年度から石巻市網地島において、オリーブの実験栽培を行っている。この栽培は、日本におけるオリーブ栽培の北限とされる宮城県において、オリーブの主要な生産地の一つであるチュニジアの原産のオリーブの栽培するものである⁶⁾。上述した通り、植物の生育には気温、降水量などの気象条件が影響を与えるので、網地島における気候と原産国であるチュニジアにおける気候とを比較することは、その最適な育成管理を検討する上で必要不可欠なものである。しかしながら、網地島には気象庁のア

メダスは設置されておらず、最寄りのアメダスは石巻市に設置されているものであるため、気象庁が発表している気象データから網地島の正確な気象データを取得することができない⁷⁾。そのため、我々は、網地島に気象観測装置を設置し、ICT (Information and Communication Technology) を活用して気象データを取得・分析することで、網地島の局所的な気象情報の特徴を見出すことを目的に本研究を行った。

我々の最終的な目標は、石巻市網地島に設置した気象測定器を用いて、網地島における気象情報のモニタリングを長期的に継続することで気象データベースを構築し、その気象情報をオリーブの育成管理など、農業に利活用することである。その一環として、本稿においては、本年度の ICT を用いた計測によって得られた気象データの分析結果を報告する。また、あわせて、オリーブの育成管理を念頭に置いて、網地島と仙台市、石巻市、および、チュニジアにおける気候の比較を行った結果も報告する。

モニタリング方法

2019年12月に石巻市網地島に2台の気象観測装置を設置し、気象モニタリングを開始した⁸⁾。2台の気象観測装置は、ともに、網地島のオリーブ畑の近傍（北緯38度25.6分、東経141度49.0分）に設置されている（Fig. 1）。以下では、Fig. 1において、南側（下側）に設置されているものを Sensor 1、北側（上側）に設置されているものを Sensor 2 とする。

気象測定は約10分毎に行い、測定する量は、測定時刻、気温 [℃]、湿度 [%]、照度 [lx]、風向 [°]、風速 [m/sec]、雨量 [mm] の7種類である。なお、風向については、Sensor 1、Sensor 2、それぞれ、Fig. 1 に示すように、南西から北東方向に 0 [°] をとり、左回り方向に角度が増加するように定める。

分析対象期間は2020年4月1日～2020年12月31日とし、Sensor 1 において上記の気象情報それぞれについて38,969点、Sensor 2 において32,024点取得することが出来た。なお、取得データはサーバに転送・保存され、遠隔から確認可能になっている。



Fig. 1 網地島における気象観測装置の配置図（Google Map より）

測定結果と考察

測定データの信頼性の確認

まず、気象観測装置から得られたデータの信頼性・妥当性を評価するために、気温と湿度に対して他のデータとの散布図を作成後、それぞれの相関係数を算出し、その相関性が妥当かどうかを検討した。なお、散布図を作成するにあたっては10分毎のデータでは細かすぎるため、1日毎にグルーピングし、日平均として扱っている。したがって、以下の議論において、各気象データは日平均の値である点に注意が必要である。なお、相関を求めるに当たり、風向については方向を与える量で、軸のとり方に依存する量なので、除外した。

Fig. 2は縦軸を気温とし、横軸を(a)湿度、(b)照度、(c)風速、(d)雨量とした散布図である。丸と三角形のマークは、それぞれ、Sensor 1とSensor 2から得られたデータであることを示している。図から、丸と三角形において多少重なっていない箇所はあるが、よく重なっていることから、2つのセンサで測定している値がほぼ等しいことがわかる。2つのセンサは数十mしか離れていないため、2つのセンサの値がほぼ等しいということは、その値の信頼性を担保する結果だといえる。

Table 1、2はSensor 1、Sensor 2における、気温と、湿度・照度・風速・雨量との各相関係数を示している。各気象データの気温に対しての相関係数が、両センサで同じような値になっていることは、上記で、2つのセンサの値がほぼ等しいことと整合しており、測定値の信頼性の高さを示唆している。また、その相関係数値については、気温と湿度、気温と照度、気温と風速の組み合わせにおいて、相関係数の絶対値が0.3を超え、相関があることが見て取れる。

相関関係については、まず、日照時間が長いほど気温が高くなる傾向は自然であり、妥当な振る舞いであると考えられる。次に、湿度と温度との相関については、湿度が高いのが7月の梅雨から9月の夏時期であることから(Fig. 3)、湿度と気温に相関性があることも妥当と考えられる。最後に、気温と風速との相関については、湿度ほどはっきりした傾向はないが、計測期間内において、風速の大きい(風の強い)時期が4月～6月と11月～12月であるため、負の相関が見られているものと考えられる。なお、例外的に9月に風の強い日があるが、これは台風の影響だと推察される。

Fig. 5はFig. 2と同様に縦軸を湿度として、横軸を(a)照度、(b)風速、(c)雨量とした散布図である。丸と三角形のマークは、それぞれ、Sensor 1とSensor 2から得られたデータであることを示している。なお、湿度と気温については、Fig. 2において既に示している。

Table 3、Table 4は湿度と照度、風速、雨量との相関を示している。湿度と雨量の組で相関係数が0.3を超えており、湿度と雨量との間に相関があることが見て取れるが、この雨量が多いほど湿度が高いという傾向は自然な傾向であり、妥当な関係だと考えられる。

以上は、我々が網地島に設置した気象観測装置によって取得された気象データの値の妥当性を、Fig. 2～Fig. 5およびTable 1～Table 4から検討したものであるが、気象データ間の相関性が妥当であることから、信頼性のあるデータの取得ができていると結論づける。

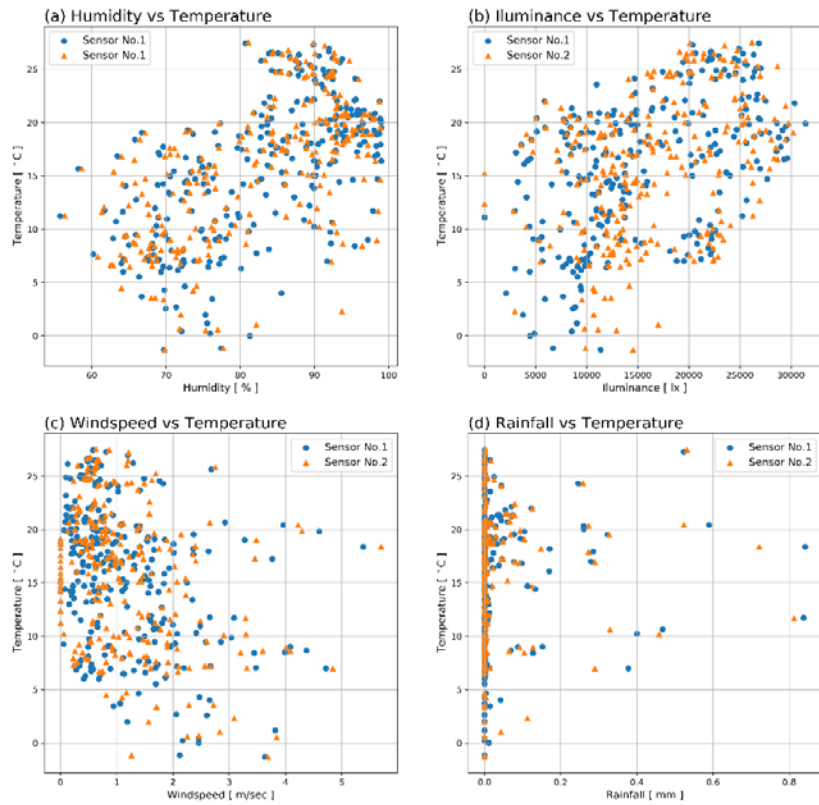


Fig. 2 各気象データと気温の散布図

Table 1 Sensor 1 の取得データにおける相関係数

	湿度	照度	風速	雨量
気温	0.599	0.490	-0.378	-0.052

Table 2 Sensor 2 の取得データにおける相関係数

	湿度	照度	風速	雨量
気温	0.594	0.356	-0.334	-0.051

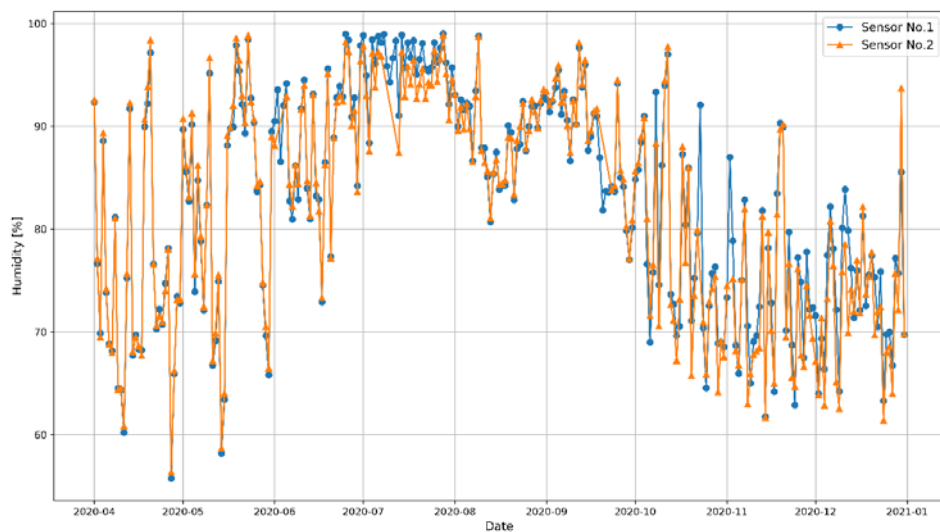


Fig. 3 網地島における湿度の時系列データ

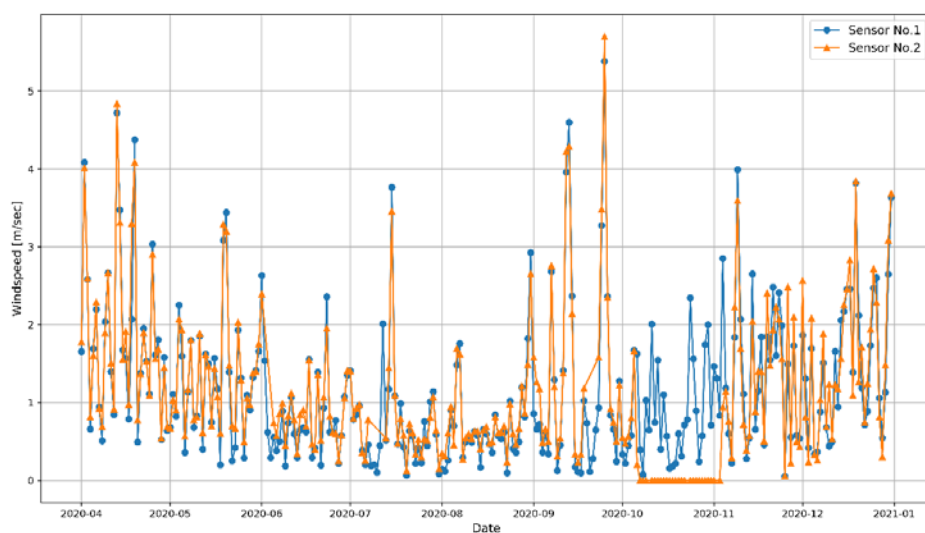


Fig. 4 網地島における風速の時系列データ

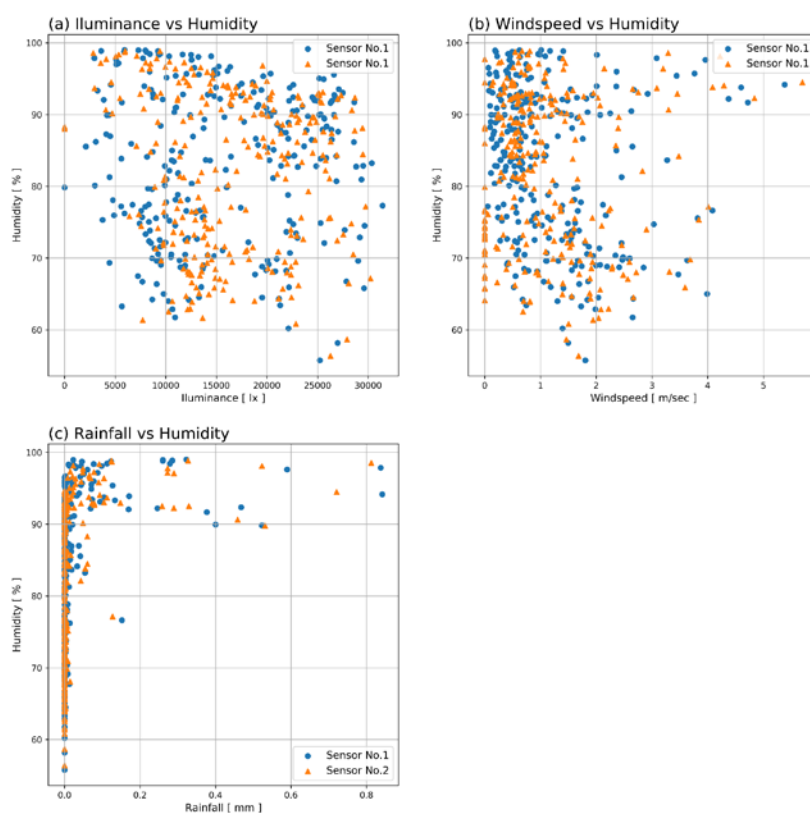


Fig. 5 各気象データと湿度の散布図

Table 3 Sensor 1 の取得データにおける相関係数

	照度	風速	雨量
湿度	0.02	-0.209	0.321

Table 4 Sensor 2 の取得データにおける相関係数

	照度	風速	雨量
湿度	-0.10	-0.057	0.336

網地島、仙台市、石巻市、チュニジアにおける気象データの比較

取得データの信頼性が確認できたことから、次に、オリーブの育成管理を想定して、チュニジアの気象データとの比較を行った。チュニジアにおける気象データは気象庁が公表しているチュニス（北緯36度49.8分、東経10度9.6分）におけるデータを用いた⁹⁾。なお、公表されているデータが月平均気温 [℃] と月間雨量 [mm] であることから、本節では、網地島で取得したデータについても月平均気温と月間雨量を算出して比較している。また、仙台市（北緯38度15.7分、東経140度53.8分）および石巻市（北緯38度25.6分、東経141度17.9分）の観測点における気象データも並べて比較した。

Fig. 6 は横軸に月、縦軸に月平均気温 (a)、月間雨量 (b) としたものである。丸は Sensor 1、三角形は Sensor 2、四角形は仙台市、×は石巻市、星はチュニスにおけるデータをそれぞれ示している。Fig. 6 (a) において、まず、目を引くのはチュニスにおける気温の高さである。具体的な値として、チュニスの年間平均気温は18.1℃であり、一方、仙台市は12.4℃、石巻市は11.6℃である。網地島においては、まだ1月～3月の気温の下がる期間のデータが含まれていないが、2つのセンサを併せた平均気温で16.0℃程度である。なお、網地島のデータについては、測定されている期間において、石巻市と近い値と振る舞いになっていることから、今後、1月～3月のデータを加えると石巻市の年間平均気温に近い値となると推察される。したがって、年間平均気温において、5℃以上チュニスの方が高い。

一方、月雨量 (Fig. 6 (b)) については、確かに、チュニスは低い値になっているが、月によっては仙台市や石巻市、網地島の方が低い値になっている。ただし、チュニスの傾向として気温が高い期間に雨量が少なくなっているのに対して、仙台市、石巻市、網地島においては、気温の高い期間に雨量も多くなっている違いが見て取れる。

庭野らは、平均気温が20℃を超える時にオリーブは成長すると報告している⁶⁾。それを踏まえると、Fig. 6 (a) において、20℃を超える期間はチュニスが5月～10月の5月間であるのに対して、仙台市、石巻市においては、6月～9月の3月間、網地島においては1年間のみのデータであるが、8月～9月の2月間である。したがって、気温の面からオリーブ育成を考えると、気温管理の必要性が確認できる。なお、Fig. 6 (a) は2020年のデータを元としているが、チュニスを除いて、7月の平均気温が不自然に低い値になっている。この不自然さは、梅雨前線が長期間に渡って本州に停滞し、全国的に記録的な日照時間不足や大雨となったことに起因していると推察できる¹⁰⁾。そのため、例年並みだった場合、7月の気温は多少高くなると考えられる。この梅雨の長雨は Fig. 6 (b) においても顕著に現れており、7月の雨量が仙台市、石巻市、網地島ともに非常に多くなっている。

一方、Fig. 6 (b) の9月において、仙台市、石巻市と比較して、網地島の雨量のみが大きなものになっている。この同じ宮城県内であるにも関わらず、大きな違いが生じている理由は2020年9月25日に宮城県付近を通過した台風12号にあると考えられる。この台風は雨台風で特に関東地方で大雨をもたらし、宮城県に最接近した9月25日において、仙台市で69 mm、石巻市で47 mm の雨量になった。それに対し、網地島においては120 mm と仙台市や石巻市と比較すると大きな雨量を観測した。Fig. 7 は気象庁が公表している台風12号の経路図である [11]。Fig. 7 からは、台風12号が宮城県沖を通過していることがわかるが、他の2つの観測点と比べて、網地島は台風近く、それを理由に雨量が異なると推察できる。この雨量の違いは、気象観測において、局所的な違いが生じることを示しており、必要とする地点において正確な気象データを測定するためには、その地点で測定する必要があることを示している。

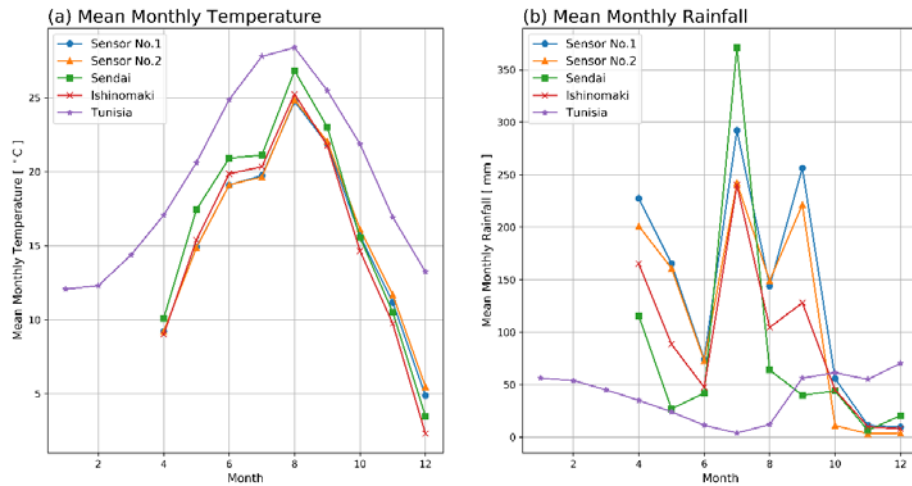


Fig. 6 気象データの比較 (a) 月平均気温、(b) 平均雨量

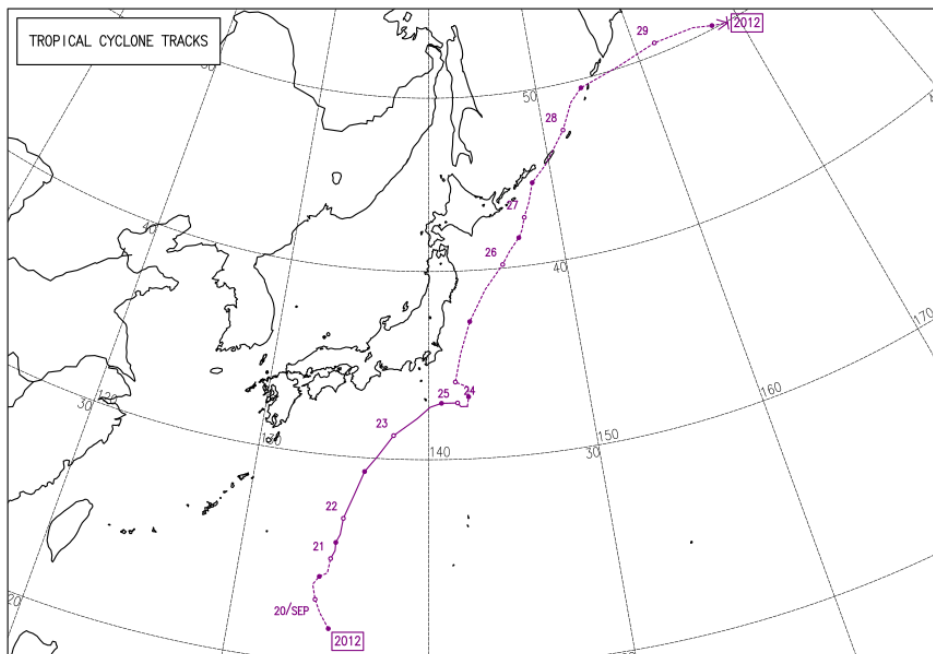


Fig. 7 2020年台風12号の経路図 (11)

風向データからのセンサ設置場所の特性

最後に風向データから取得可能な情報について言及する。Fig. 8 (a) および (b) は、それぞれ、Sensor 1 と Sensor 2 において、分析対象期間内に10分毎に観測された風向をヒストグラム化したものである。また、Fig. 8 (c) は月毎に風向の平均値を算出し、横軸を月、縦軸を平均風向としてプロットしたものである。Fig. 8 (a) における大きな特徴は80° から180° 付近の度数が0である点である。これは、測定器の不調というわけではなく、Fig. 1 において、Sensor 1 の配置を見ると、センサのすぐ右下に林があり、その林によって、風が遮られているためである。したがって、180° を加えた真反対の260° から360° においては、風が検出されている。

また、Fig. 8 (a) と (b) を併せて見ると、度数の高さは多少異なるが0° から80° と300° から360° の間において、度数が高くなっている傾向は同じである。これを踏まえ、Fig. 1 を見ると、大体、左下から右上へと吹く南西からの風が多く吹いていることがわかる。この方向は、網地島線につながり、林に囲

まれたオリーブ畑において、林がない方向にあたる。したがって、風向から、その立地状態が予測可能であることを示唆している。

Fig. 8 (c) からは、月平均の風向は4月から夏にかけて220°程度から50°程度に減少し、9月から12月にかけて270°程度に増加していることがわかる。つまり、具体的な方角としては、北寄りの風向から南寄りの風向に変化し、その後、再び北寄りの風向に変化しているということである。

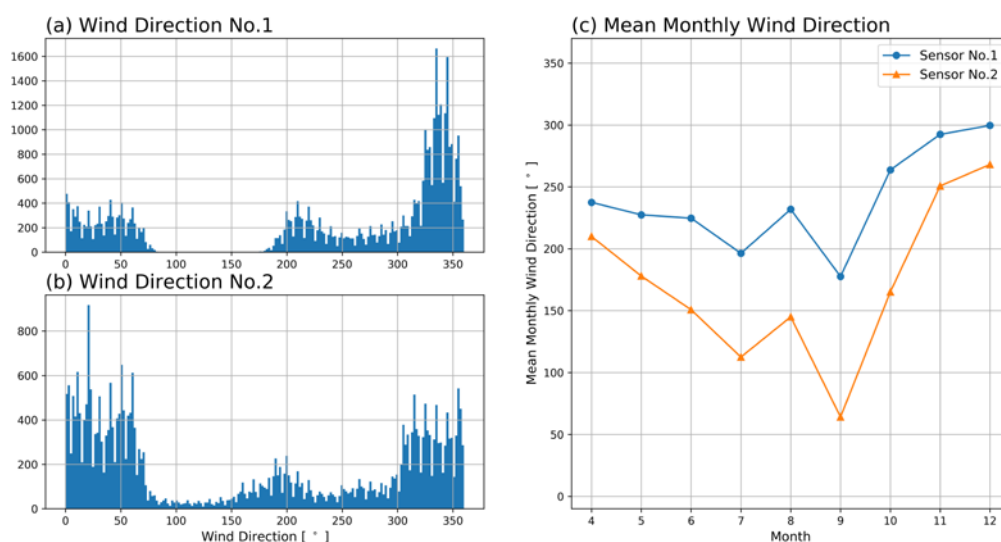


Fig. 8 網地島における風向

まとめと展望

本稿では、石巻市網地島に設置した気象観測装置から得られたデータについて検討を行った。まず、そのセンサ類の信頼性においては、2つのセンサの値が等しい点、および、各種気象データの相関関係が妥当であることの2点から、信頼性は高いと判断した。

次に、オリーブの育成管理の点ではチュニスとの気象データの比較から、特に、気温についての管理の必要性が示唆された。また、雨量のデータから、同じ宮城県内においても、気象データが大きく異なることが示され、農作物の育成管理などに気象データを用いる際は農地付近での気象観測の重要性が示唆された。

最後に、風向のデータからは、測定装置付近の地理情報を推測可能であることが示唆された。

今後、継続して気象データの観測を続け、データベースを充実化することで、より詳細な気象情報の取得が可能となり、それに対して機械学習などの分析技術を適用することで、短期間（30分～1時間程度）の気象変化の予測が可能となり、より高効果的な農作物の育成管理ができるようになることが期待される。

謝辞

本研究は、東北福祉大学感性福祉研究所において、文部科学省の研究施設運営支援の助成を得て行われました。

参考文献

- 1) 気象庁 | 気象情報を利用して気候の影響を軽減してみませんか?, <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/>
- 2) 気象庁 | 各種データ・資料, <https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>

- 3) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次評価報告書, 第一作業部会: 気候変動の自然科学的根拠: ビジネス向け要約 (2013), IPCC Working Group I (climatechange2013.org)
- 4) 西野実,『気象データを利用した害虫の発生予測』, 植物防疫, 第73巻第5号, 33, 2019.
- 5) 農業におけるデータの利活用, 内閣官房情報通信技術総合戦略室, 平成28年12月9日. https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/data_ryutsuseibi/detakatsuyo_wg_dai6/siryou3.pdf
- 6) 庭野道夫, 山口政人, 渡邊圭, 磯田博子,『チュニジア産オリーブ栽培の実践的研究 I』, 感性福祉研究所年報, 第20巻, pp.79-94, 2020.
- 7) アメダス <http://amedas.log-life.net/index.php>
- 8) 石巻市網地島 <https://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10053500/0050/3640/3640.html>
- 9) 気象庁 | 地点別平年値データ・グラフ https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/climatview/graph_mkhtml_nrm.php?n=60715&m=1
- 10) 気象庁 | 災害をもたらした気象事例 https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html
- 11) 気象庁 | 2020年 台風経路図 https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/bstv2020.html

第Ⅱ部

3 センター・プロジェクト活動報告

令和2年度 3センター・プロジェクト活動報告

令和2年度は、下記の通り、感性福祉研究所3センター(健康科学研究センター、感性福祉研究センター、地域創生センター)の研究課題を実施する予定であった。しかし、前年度末からの新型コロナウイルスの感染拡大により研究環境等の急激に変化し、研究実施計画の立案も十分行えない状態になった。

本学においては、研究の実施に際しては、本学研究倫理委員会の通知(令和2年4月15日付)により、対象となる研究協力者の安全に十分に配慮するよう注意喚起があった。特に、対面によるインタビュー調査、身体との接触を伴う測定等、濃厚接触の危険性を有する調査・研究については、緊急性を有する案件を除き、当分の間中止することとなった。本研究所の3センターの主要な研究課題は、この中止の対象になる研究であった。その後コロナの感染拡大も第2波、第3波と続き、終息する気配が見えないまま年度末を迎え、最終的には実施した研究課題がない状態で本年度が終了した。

【健康科学研究センター】

【研究プロジェクト課題名】

サクセスフルエイジングを促す・阻む認知機能変化の認知・脳科学的検討

【研究目的・目標】

健康科学研究センターは、令和元年度より研究プロジェクト「サクセスフルエイジングを促す・阻む認知機能変化の認知・脳科学的検討」に着手した。前年度までの戦略的研究基盤形成支援事業にて培った大学生の社会的・職業的能力を対象とした認知・脳科学的エビデンス情報提供基盤(脳機能・構造画像および心理特性データベースおよびヒト特性推定器)を活用して、超高齢化する地域社会で生活する人々の認知機能に焦点を当てた研究を展開していくこととした。研究対象を青年期・壮年期から中年期・老年期へと拡張し、国内外でも例にない多種多様な脳機能・構造指標および心理指標を用いて中高年の脳機能・構造画像および心理特性データベースを作成し、ヒト特性推定器の対象範囲の拡大を目指す。

【感性福祉研究センター】

【研究プロジェクト課題名】

『3.11を契機とする地域の健康福祉システムの再構築』－「集中復興期間」後の展開－

【研究目的・目標】

本研究プロジェクトの目的は、これまでの研究作業やボランティア活動を通じてレポートの設定ができた諸地域や諸団体を主たる対象に、『集中復興期間』後の被災者・被災地における「3.11」の余波と個人、家族、地域の命運を追跡し、その作業を通じて見出される克服すべき諸問題の問題連関・性格と対応諸策の性格や副作用の把握や知見の獲得と、従来思考法や実践の再考との相互作用をふまえ、「3.11」の衝撃によって消失あるいは機能停止した諸施設の再建を越えて、事態の進行の渦中であって、見出される諸問題の可視化と不可視化、既決と未決の振り分けを通じ、改めて、『地域の健康福祉システムの再構築』を如何に図るべきかを展望することにある。

【地域創生センター】

【研究プロジェクト課題名】

地域創生基盤構築の実践的研究

【研究目的・目標】

本研究プロジェクトは、学内諸学科・諸組織との有機的な連携、更には学外研究機関・民間企業、地方自治体との積極的な連携を図りながら、これからの日本の地域創生に必要な課題に果敢に取り組み、その研究の諸成果を、地域創生に活用することを目標とした。

地域創生のためには地域に活力をもたらす新しい産業・福祉事業の創生が必要不可欠であり、課題抽出・課題解決型の基盤的研究、実用化のための基盤的实践研究を推進することとした。研究テーマには、福祉・農業分野の幅広い内容を含ませ、また、これらの研究テーマを遂行する中で、本学のブランド力を高めるとともに、新しい福祉・農業事業を推進する若手人材の育成にも注力することを目指す。

本誌「感性福祉研究所年報」は、
URL (<https://www.tfu.ac.jp/research/kanken/report/index.html>) で閲覧いただけます。
また、図表はカラーで掲載しておりますのでご参照ください。

感性福祉研究所年報 第22号

発行年月日 2021年 3 月31日発行

発 行 所 東北福祉大学感性福祉研究所
〒989-3201 仙台市青葉区国見ヶ丘6-149-1
TEL 022-728-6000
TEL 022-233-3111 (東北福祉大学)

発 行 者 東北福祉大学感性福祉研究所
所長 千 葉 公 慈

編 集 東北福祉大学感性福祉研究所年報委員会

製 作 株式会社 ホクトコーポレーション
〒989-3124 仙台市青葉区上愛子字堀切1番13号
TEL 022-391-5661