

独立行政法人国立高等専門学校機構

高知工業高等専門学校

学 術 紀 要

第 69 号

BULLETIN OF

NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, KOCHI COLLEGE

No. 69 MARCH 2024

2024 年 3 月

独立行政法人国立高等専門学校機構
高知工業高等専門学校

目 次

学術論文

音声学的アプローチから見る留学生の専門用語習得の問題点 ：「化学」分野における複合名詞アクセントの観察から	大沼敦子 1
Krieg und menschliches Leben — Ein Weg zum kleinen Frieden —	Masatoshi SASAKI 9
生成AIを用いたプログラムの並列化の評価	立川崇之 19
グローバル・ヒストリーにおけるギリシア海事史研究の発展	松浦真衣子 29
Thermoelectric properties of Fe-doped SnO ₂ ceramics	Masahiro YASUKAWA 41
高知工業高等専門学校校外発表研究論文（抄録）	49

音声学的アプローチから見る留学生の専門用語習得の問題点
：「化学」分野における複合名詞¹⁾アクセントの観察から

大沼敦子²⁾

Phonological Approach to the Challenges International Students Face in Acquiring Specialized Japanese Terminology: An Examination of Compound Noun Accents in Chemistry

Atsuko ONUMA

Abstract

This study analyzed the tendencies of pitch accent errors in compound nouns within the domain of specialized Japanese chemical terms, posing challenges for native Thai students. All Thai students at our institution have expressed difficulty with chemistry courses, particularly in communicating with their peers during group work, raising concerns. Nevertheless, they demonstrate a high ability to recognize between individual sounds. As a contributing factor, it was hypothesized that the failure to comprehend the unique accent shift rules of compound nouns might hinder their conversational understanding. Specifically, the pitch accents of compound nouns were measured using speech analysis software for first-year international students here for one and a half years. The results were then compared to those of a native Japanese-speaking instructor, confirming the hypothesis that the students tended to maintain the accent of the original noun in their pronunciation.

Keywords : KOSEN, Chemical terms, Japanese phonetics, Thai native speakers, Technical Japanese education, Praat, Digital textbook

要旨

本研究ではタイ語母語話者の留学生が苦手とする日本語の化学専門用語のうち、複合名詞に焦点を当て高低（ピッチ³⁾）アクセント⁴⁾の誤りについての分析を行った。

本校で学ぶタイ人留学生は全員が化学科目に苦手意識があると話している。特にグループワークでの同級生とのコミュニケーションに不安を感じていると話す。しかしながら、彼らは基本的には個々の音に対する弁別能力は極めて高い。別の要因として、複合名詞が形成される際に構成要素の名詞のアクセントが変化するルールが理解できていないことが会話の理解の障害になっているのではないかと仮説を立てた。

¹⁾ 名詞（N1）と名詞（N2）が完全に複合して一語化する名詞

²⁾ 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科 特命准教授

³⁾ 高低アクセント＝ピッチアクセントだが、本稿では引用をのぞき「高低アクセント」表記で統一する。

⁴⁾ 本稿は標準的な東京アクセントをもとにしている。

具体的には、来日半年を経た1年次留学生と1年半を経た2年次留学生に対して、化学専門用語の複合名詞を発音する際の高低アクセントを音声分析ソフトで観察し、日本語母語話者の教員との比較を行った。⁵⁾この結果、仮説どおり学生たちは複合名詞特有のアクセント移動を行わず、もとの名詞のアクセントを維持して発音する傾向にあることが明らかになった。

キーワード 高低アクセント、テキストマイニング、高専、化学用語、日本語音声学、タイ語母語話者、アカデミックジャパニーズ、Praat

序論

高専留学生にとって理想的な学びの状態とは、各科目の授業を理解することにある。理系学生全般について「理工系専門教員は留学生の作文能力について最も能力不足を感じている」（長谷川2022）との調査結果があるように、一般的には教科書やレポートの読み書きが大きな課題と言われているが、高知高専留学生によれば、「教員による説明は言葉を聞きながら教科書の文字で確認することが可能だが、グループ作業では個々の学生が思い思いに発話するため、聞くことにも話すことにも困難さを感じる」とのことである。

対策として考えられるのはリスニングとスピーキング能力の強化だが、タイ人留学生は一般的に個々の音に対するリスニング能力が高く、他の要因が影響している可能性があると考えられる。その一因として考えられるのが、複合名詞形成時のアクセント移動ルールの理解不全である。

過去には理系留学生のための専門日本語語彙教育の重要性が多く言及され、一方で日本語の高低アクセントについての研究も方言については多数存在する。しかし、両者を結びつけた研究は発展段階にあるように見受けられる。

個々の名詞とそれらが合体した複合名詞のアクセントの違いを学生たちが実際に理解できていないことが判明した場合、音声分析は学習者向けにカスタマイズしたカリキュラムや教材の開発の基盤となり、早い段階から語彙の効率的な習得を促進する手助けとなるはずである。

リサーチクエスチョン

留学生が化学専門用語に難儀するのは、複合名詞のアクセントルールの習得に問題が発生しているからではないか。

仮説

具体的に以下の仮説をたてた。化学の教科書から抽出した上位頻出語彙の中で、複合名詞に焦点を当て、母語話者と留学生とで録音し音韻分析を行う。アクセント転移が起きる複合動詞について母語話者と非母語話者との差が有意であればルールを理解しておらず、リスニング能力の向上に影響を及ぼす要因のひとつになっていると考えられる。

⁵⁾ 音を正確に聞き取れなければ（リスニングできなければ）正確に再現できない（スピーキングできない）。言い換えれば、スピーキング能力が測ればリスニング能力が推察できる。このため本研究ではスピーキングに焦点を当てた。

先行研究の整理 日本語の名詞および複合名詞のアクセントルール

1. 日本語のアクセント⁶⁾

日本語のアクセントは高低アクセントで、以下2点の制約がある（田中、窪園1999）

- ・ 1拍⁷⁾目と2拍目は違うピッチでなければならない。
- ・ 単語の中で一度下がったピッチは2度と戻らない。

a.	頭高型	ちゅ\うごくが
b.	中高型	ひ/こ\うきが
c.	中高型	の/みも\のが
d.	尾高型	お/とうと\が
e.	平板型	ア/メリカが

図1 アクセント核⁸⁾に基づく「型」5種

例えば4拍の名詞の波形は基本的に以下の5型になり、いずれもゆるい山を描く。（図1）

2. 複合名詞のアクセント

前部要素と後部要素から成る「複合名詞」のアクセントは後部要素ごとに一定の規則性が見られ（田中 2017）、複合名詞のルールは以下のとおりである（国際交流基金 2009）。

1. 複合語のアクセント核はすべて後ろに来る単語の部分に置かれている。
2. 複合語では前に来る単語のアクセント核はなくなる。
3. 後ろの単語の部分の最初の拍にアクセント核が来るが、後ろに来る単語が中高型のときだけそのアクセント核の位置は変わらない。

研究手法（実験、調査、実践など）

以下の手順によって行った。

1. 頻出複合名詞の抽出

本研究では、教科書『工業716 工業化学1』の第一章「物質と化学」のデジタル教科書版テキストデータを活用した。「化学分野（の教科書）については、冒頭の『1章』で初出語が多い」（浅石 2018）との指摘があることから、入学初期の段階から学習の迅速な進行が求められるという観点に基づいて第一章を選択した。テキストデータの抽出にはテキストマイニングフリーソフトウェア

⁶⁾ 本稿ではアクセントについて以下のように表記する。

アクセントが上がる /
アクセントが下がる（アクセント核） \
平板型 —

⁷⁾ 拍（モーラ）とは日本語の音の長さを表すときに使う単位（国際交流基金 2009）

⁸⁾ その音が低くなる直前の拍のこと。日本語では1つの単語には1つのアクセント核しかない。

KH Corder 3. Beta.03iを使用した。

2. 読みがな→発音記号への変換

抽出した名詞の読みがなを発音記号変換ツールEasyPronunciation.comを用いて発音記号に変換した。

3. 分析に使用する名詞及び複合名詞の決定→「結合」

最頻出の「結合」を軸とした。「結」「合」ともに「理系留学生の為の英日理系基礎単語集」(徳弘他 2018)から抽出された「理系基礎単語集に多く出現する漢字100字」のうち、合(2位)、結(22位)と上位であり、化学にとどまらず理系全般の学習において重要な語彙であることが示唆される。

4. 「結合」の分析

拍数 「け・つ・ご・う」の4拍
 発音記号 ke / tsu^hgo:~ 【k】と【ŋ】
 アクセント け／つごう 2拍目で上がる平板型

5. 「結合」を軸とした複合名詞の抽出

表1. 名詞「結合」と「結合」を含む複合名詞

1	結合		け／つごう	
2	化学結合	か／がく	け\つごう	
3	結合距離		け／つごう	きょ\り
4	共有結合結晶	きょ／うゆう	けつごう	けっ\しょう

「結合」の前部、後部、および前後部に追加した複合名詞を頻出語リストから抽出し分析の材料とした。また、アクセントが本来のパターンから変わる単語にマーカーを引いた(表1)。

元の単語のアクセントは以下のとおりである。

1. 「結合」 「け／つごう」平板型
2. 「化学結合」 「か\がく」頭高型
3. 「結合距離」 「きょ\り」頭高型
4. 「共有結合結晶」 「きょ／うゆう」「けっ／しょう」共に平板型

6. 音響分析ソフトPraat

Praatは音響学や音声分析のためのフリーウェアで、オランダ・アムステルダム大学の Paul BoersmaとDavid Weeninkによって1995年に開発された。声やことばの特徴を数量的に表現したスペクトルや基本周波数などの音響パラメータを音声から抽出できる。外国語学習の分野では、モーラ数、有声・無声区間、アクセント、イントネーションなどを視覚化できるツールとして活用され、木下、中川(2019)がPraatを使用した自学用教科書を編集するなど日本語教育現場にも浸透しつつ

ある。

本研究ではタイ語母語話者の学習者と日本語母語話者の教員による4単語の発音を録音し、アクセントの高低の推移を波長から比較した。

7. 被験者の属性

タイ語を母語とする16歳から17歳の留学生4名である。いずれもタイ国内で日本語の予備教育を半年、高知高専側のオンライン予習を3か月行って来日した。(初級前半終了程度で来日)タイ語は母音の数が多く、また、英語を小学校から学んでおり音を聞き分けるリスニング力が基本的に高い。⁹⁾

なお、分析時における日本語力(日本語能力試験認定の目安 2023参照)は以下のとおりである。

1年次留学生

日本語能力試験(JLPT) 4級合格済み

<聞く> 日常的な場面でややゆっくりと話される会話であれば内容がほぼ理解できる。

2年次留学生

日本語能力試験(JLPT) 3級合格済み

<聞く> ・ 日常的な場面で、やや自然に近いスピードのまとまりのある会話を聞いて、話の具体的な内容を登場人物の関係などとあわせてほぼ理解できる。

分析にあたっては、1年次学生を1-Aと1-B、2年次学生を2-Aと2-Bと表記した。比較対象の教員は東京方言を使用する日本語母語話者である。

結果

結果は以下のとおりである。図中のローマ字は変換ツールinstant toolsを用いて駅名標へボン式¹⁰⁾に変換した。Praatでは拍ごとのアクセントの高低(縦軸)の推移を青い波形で表す。本稿では波形を見やすくするためオリジナルの図の下に教員は緑、学生は水色のマーカーでなぞった図を添付した。

1. 「結合」

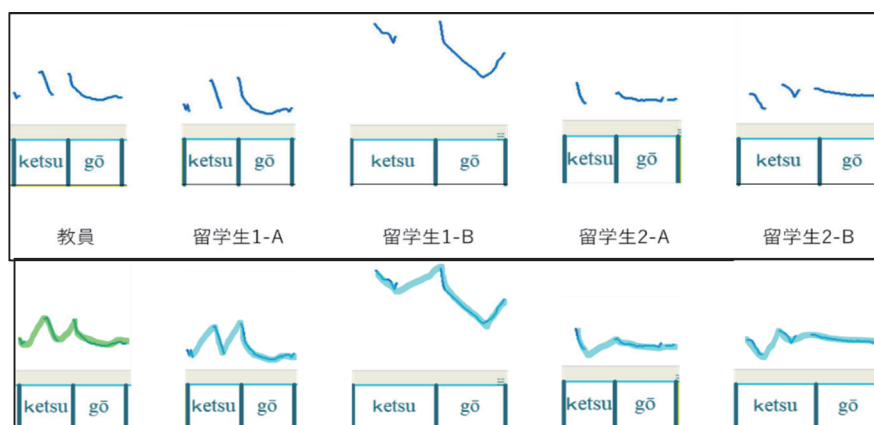


図2. 名詞「結合」の高低アクセント¹¹⁾

全員が教員の波形と違いが見られず、日本語母語話者のアクセントを正確に聞き取り、再現できて

⁹⁾ 一方、母語と日本語で音の判別方法が違う有声破裂音【g】鼻濁音【ŋ】無声破裂音【k】には苦勞している。

¹⁰⁾ 長音を明記するため採用した。

いることが示唆される。(図2) 日本滞在期間に1年の開きがある1年次留学生と2年次留学生に大きな変化が見られないことから、頻出語彙については早い段階から耳慣れていることが推察される。

2. 「化学」 + 「結合」

「化学」のアクセント 3拍 ka\ŋaku^β アクセントの下がり目は「か」の後

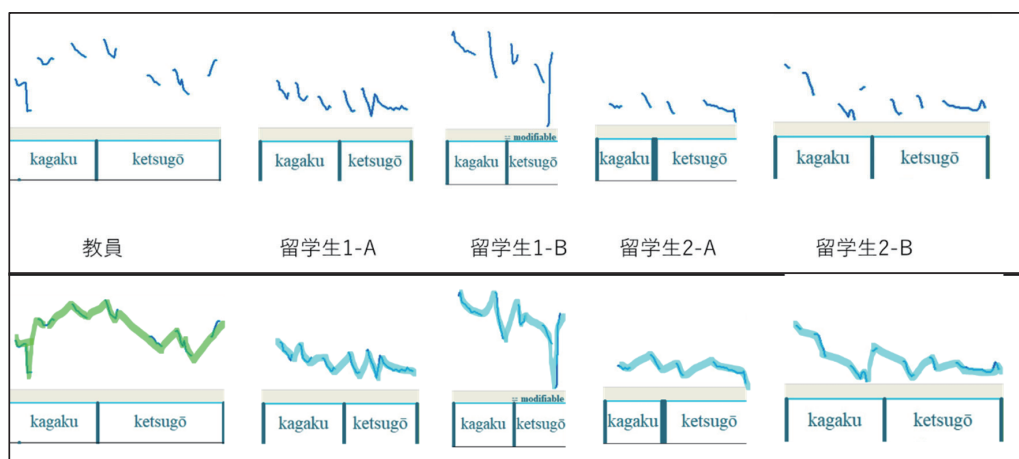


図3. 複合名詞「化学結合」の高低アクセント

- ・後部「結合」のアクセントは尾高型のまま変化しない。(アクセント核が形成されない)
- ・前部にはアクセント核が来ない。このため「化学」は元のアクセント核をなくす必要がある。

4人とも教員と異なる波形が観察された。¹²⁾ (図3) 以上2点より、「化学」「結合」それぞれ元の単語のまま発音していることが示唆される。

3. 「結合」 + 「距離」

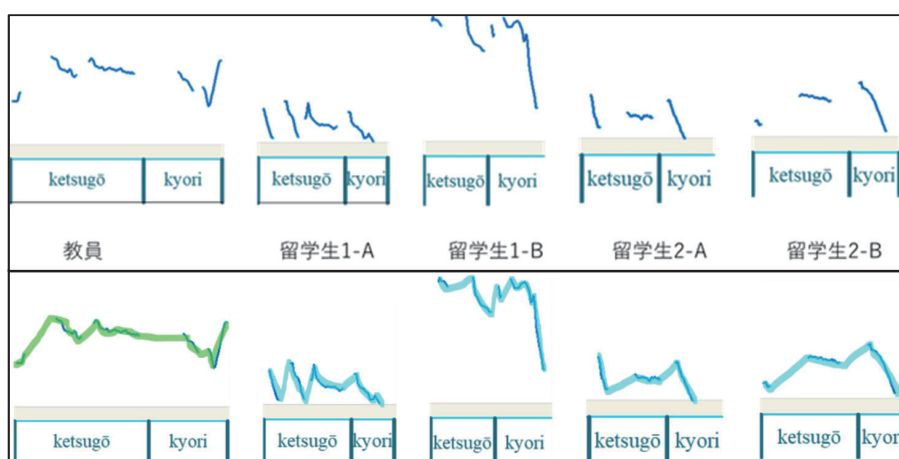


図4. 複合名詞「結合距離」の高低アクセント

¹¹⁾ 留学生1-Bは教員や他の学生に比べ高い位置で波形を描いているが、アクセントの位置、上昇・下降幅には話者によって母語話者でもばらつきが生じる。

¹²⁾ 「かがく」は【k】【ŋ】が連続するため苦手意識が強い単語の一つである。弁別に過度に注意を払うため、2拍目の「が」を強調すべく高く発音し、誤った中大型アクセントになる傾向がある。

「距離」 2拍 k^jo\ri アクセントの下がり目は「きょ」の後

「距離」は頭高型のアクセント核があるため、複合名詞になっても変化しない。「結合」もアクセント核がないため、変化の必要がない。留学生は全員、教員と同じゆるやかな波形を描いた。(図4) 言い換えれば、複合名詞を作る際にアクセントが変化する可能性を考慮していないとも受け取れる。

4. 「共有」 + 「結合」 + 「結晶」

「共有」 4拍 k^jo/ju^β アクセントの上がり目は「きょー」の後

「結晶」 4拍 ke/εeo アクセントの上がり目は「けっ」の後

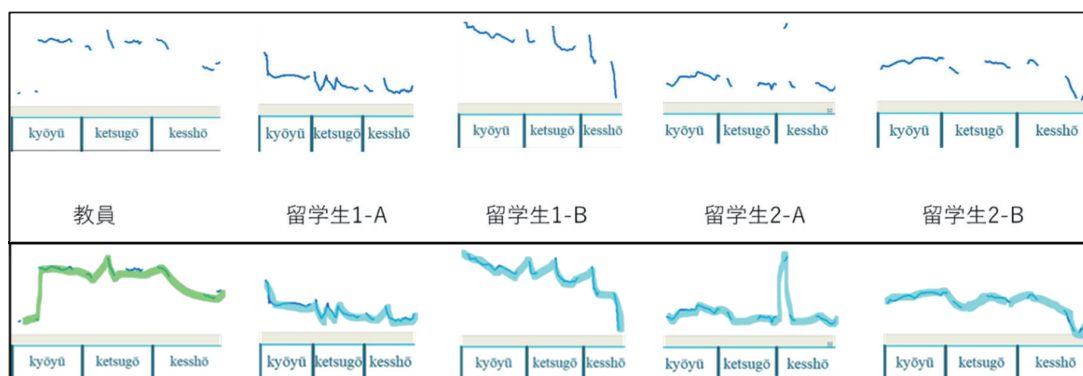


図5. 複合名詞「共有結合結晶」の高低アクセント

「共有結合結晶」のアクセントは以下のとおりである。

- ・前部の「共有」は尾高型で変化がない。
- ・真ん中の「結合」は前部ですでに上がっているため上がらない。また、後部があるため下がらない。
- ・後部の「結晶」がアクセント核を形成するため尾高型から頭高型に変化する。

1名(留学生2-B)をのぞき、教員とは異なる波形を描いた。(図5)

波形の異なる3名は変化のない「共有結合」までは教員の波形と類似している。2名は「結晶」が本来の平坦型であったが、1名は「け」と「しょ」の2か所で上がり日本語には存在しない波形を描いた。前者については複合名詞のアクセント核の変化が理解できていないと判断できるが、後者については本分析だけでは選択した理由を明らかに述べることはできない。¹³⁾

考察

以上の結果から、仮説どおり留学生は単純な一語かつ頻出の専門用語については早い段階から正しいアクセントが身につけているが、複合名詞に姿を変えたときにアクセントを正しく移動しない傾向があることがわかった。

結論・課題・展望

本研究によって、留学生は化学専門用語単体のアクセントの理解はできていても、複合名詞になっ

¹³⁾ 母語であるタイ語の干渉の影響が考えうるが、それについては今後の研究で追及していきたい。

たときアクセントが移動することを理解できていない傾向が明らかになった。ただし、被験者数が限られているため、留学生全般にこの複合名詞の発音パターンが当てはまると断言することはできない。

専門用語は非常に多岐にわたり、出現頻度に偏りがあることが指摘されている。¹⁴⁾単にすべての専門用語を暗記し広範に網羅するのではなく、共起しやすい用語を把握し、類推能力を養うことが現実的である。そのためにも初出の際にアクセントルールを説明して体系的理解を深め、Prattやアクセント辞典を使用するなど、発音を視覚化して指導を行う必要があるだろう。

なお、この結果を踏まえ、学生自身の発音を聴きながら複合名詞のアクセントルールを説明したところ自発的に練習するようになり、Praatが発音訓練に有用であることが示された。

暗記力だけでなく、理解力と推論力を養うため、教育実践と検証を繰り返しながらさまざまなアプローチを探していきたい。

参考文献・資料・サイト

- 1) 宇都木昭. 「Praat入門」. Akira Utsugi's web site (宇都木昭研究室). <https://sites.google.com/site/utsakr/Home/praat?authuser=0> (参照 2023-12-18).
NHK放送文化研究所. 『NHK日本語発音アクセント新辞典』. NHK出版, 2016
- 2) 木下直子, 中川 千恵子. 『ひとりでも学べる日本語の発音—OJADで調べてPraatで確かめよう』. ひつじ書房, 2019
- 3) 後藤寛樹. 「タイ人日本語学習者の日本語アクセント生成」. Thammasat University-Tohoku University-NIDA International Symposium on Japanese Studies 2020
- 4) easypronunciation. com. <https://easypronunciation.com/ja/japanese-kanji-to-romaji-converter> (参照 2023-11-1).
- 5) instant tools https://tools.m-bsys.com/original_tools/romaji.php (参照 2023-10-31).
- 6) Praat: doing phonetics by computer <https://www.fon.hum.uva.nl/praat/> (参照 2023-10-31).

引用文献

- 1) 浅石 卓真. 「中学・高校の理科教科書における専門用語の出現過程」. 『計量国語学』, 2018, 31巻 5号 p. 338-351.
- 2) 窪園 晴夫. 『日本語の音声』. 岩波書店, 2004
- 3) 『工業716 工業化学1』. 実教出版, 2022
- 4) 国際交流基金. 『日本語教授法シリーズ第2巻 音声を教える』. ひつじ書房, 2009
- 5) 田中 伊式. 「複合名詞の発音とアクセント～『新辞典』のねらいとアクセント規則～」. 『放送研究と調査』. NHK出版, 2017, p.54-63.
- 6) 田中 真一, 窪園 晴夫. 『日本語の発音教室 理論と演習』. くろしお出版, 1999
- 7) 徳弘 康代, 西山 聖久, レイト・エマニュエル, 服部 淳. 「理工系留学生のための漢字リストの開発 - 英日理系基礎単語集に出現した漢字の分析から -」. 『平成30年度工学教育研究講演会講演論文集』. 2018, p.558-559.
- 8) 日本語能力試験 認定の目安. <https://www.jlpt.jp/about/levelsummary.html> (参照 2023-10-31)

¹⁴⁾浅石 (2018) によれば、「『少数の専門用語が頻繁に繰り返される一方で、多くの専門用語は殆ど繰り返されない』という出現頻度の偏り」が存在している。

- 9) 長谷川 由香. 「理工系専門教員は留学生の日本語能力をどのようにとらえているか—アンケート結果から—」. 『多文化社会と言語教育』. 2022, Vol.2, p.39-47.

受理日：2023年11月6日

Krieg und menschliches Leben

— Ein Weg zum kleinen Frieden —

Masatoshi SASAKI*

Abstrakt

Wenn wir auf die Geschichte der Menschheit zurückblicken, ist es vielleicht wahr, daß die Menschen mit dem Krieg gelebt haben. Es ist fast so, als müßten wir sagen: „Die Menschen leben immer mit dem Krieg.“ Wie haben die Menschen in der Welt mit dem Krieg gelebt? Ich möchte die Beziehung zwischen Krieg und menschlichem Leben durch eine phänomenologische Interpretation der Werke jener japanischen *Tanka*-Dichtung erörtern, die versucht, das Leben aus dem Leben selbst zu verstehen und auszudrücken.

In der Grundstimmung des Systems des totalen Krieges widmete sich der Dichter Mokichi Saito dem Krieg und wiegelte das Volk zum Krieg auf. Damals wurden die Menschen als „Volk“ gewaltsam in den nationalen Krieg gezwungen. Während die Menschen in der Kriegszeit von militaristischen Ideen getrieben wurden, hat der Dichter Yoshimi Kondo heimlich seine Antikriegsgefühle verteidigt. Der Krieg endete mit einer Niederlage, und die Menschen erwachten aus der Grundstimmung unter dem Kriegsregime. Die vernünftigen Menschen reflektierten ihre Haltung während der Kriegszeit, erneuerten ihre Antikriegsentschlossenheit oder stärkten ihre Entschlossenheit für Gerechtigkeit. An die Menschen in der japanischen Gesellschaft appelliert der Dichter Kondo, daß sie danach streben müssen, es zum Charakter des japanischen Volkes zu machen, sich demütig zu halten, und daß sie dadurch ein Volk werden sollten, das den Frieden für immer schützt.

Wir müssen nur „bescheidenes Glück“ bekommen. Wir sollten wissen, daß wir genug von dem haben, was wir normalerweise brauchen, und vermeiden, zu viel zu wollen. Nur dann würde nachhaltiger Frieden auf der Erde verwirklicht. Bescheidenheit muß eine wesentliche Tugend für die Zukunftsfähigkeit der Menschheit sein.

Einleitung

Wenn man die aktuelle Weltlage betrachtet, kann man schwerlich sagen, daß die Menschen friedlich leben. Konflikte zwischen einigen Ländern verursachen Nahrungsmittel- und Energiemangel auf globaler Ebene und plagen viele Menschen in der Welt. Wenn wir auf die Geschichte der Menschheit zurückblicken, ist es zwar wahr, daß die Menschen mit dem Krieg gelebt haben. Es ist fast so, als müßten wir sagen: „Die Menschen leben immer mit dem Krieg.“ Aber ist das wirklich so? Was können wir jetzt tun, damit die Menschen in Frieden leben können?

Wie haben die Menschen in der Welt bisher mit Krieg gelebt? Wie sollte das menschliche Leben im Hinblick auf den Krieg geführt werden? Dies möchte ich, wie Dilthey sagt, mit den Augen einer Art visionären Dichters betrachten. Mit anderen Worten: Ich möchte die Beziehung zwischen Krieg und menschlichem Leben durch eine phänomenologische Interpretation einiger Werke jener japanischen *Tanka*-Dichtung erörtern, die versucht, das menschliche Leben aus ihm selbst zu verstehen und das Lebensverständnis auszudrücken, die

* Außerordentlicher Professor des Staatlichen Instituts für Technologie, Kochi, Japan.

also das tut, worauf auch Dilthey zielte.

Als ich am Goethe-Institut in Japan anfang, Deutsch zu lernen, sagte mir ein Deutschlehrer, man solle es vermeiden, über Politik, Krieg und Religion zu sprechen. Dieses Mal werde ich dieses Verbot brechen. Das könnte vielleicht eine Art gewagter Versuch sein. Wir können nicht wissen, wie die Welt in Zukunft sein wird, und wir können nur sehen, wie sie jetzt ist, und wie sie früher war. Damit die Menschen in Zukunft friedlich leben können, sollten wir aus den Erfahrungen in der Vergangenheit lernen. Dies ist ein gewagter Versuch dazu.

1. Eintauchen in den Krieg

Nach der *Meiji*-Restauration in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts trieb Japan die Modernisierung voran, um mit den fortgeschrittenen westlichen Ländern gleichzuziehen, und versuchte schließlich, seinen Einfluß im Ausland auszudehnen. Japan verursachte vor allem in verschiedenen Teilen Asiens militärische Konflikte und stürzte sich schließlich mit einem System der nationalen Mobilisierung in den Pazifikkrieg bzw. den Zweiten Weltkrieg. Kurz bevor Japan in den Zweiten Weltkrieg eintrat, schrieb der *Tanka*-Dichter Mokichi Saito (1882-1953)¹ inmitten der nationalen Mobilmachung beispielsweise diese Gedichte:

国こぞる大さき力によこしまに相むかふものぞ打ちてし止まん

Gegen unsere nationale große Macht

Führt der Feind bössartig

Einen Kampf.

Schlagen wir ihn

Ohne anzuhalten!² (aus: Mokichi Saito, *Kanun* (1940))

わがどちの戦にゆく数ふえて心は滾つきのふも今日も

Unter meinen Freunden

Zogen in den Krieg

Mehr Menschen,

Daher bin ich aufgeregt

Gestern und heute! (Ebd.)

この力つらぬき透す國民とさだめられたるを誰か疑ふ

Wer würde zweifeln

An unserer Bestimmung,

Ein Volk zu sein,

Das durch-kämpft

Mit aller Kraft? (Ebd.)

¹ Psychiater und *Tanka*-Dichter. Als Psychiater forschte er 1921-1924 an den Universitäten Wien und München. Als Dichter plädierte er dafür, das Leben in *Tanka*-Dichtung zu beschreiben, und glaubte, daß diese Einstellung etwas mit Diltheys Lebensphilosophie gemeinsam hatte.

² Übersetzung vom Verfasser. Dasselbe gilt im Folgenden.

Es war zur Zeit des Krieges mit einer asiatischen Macht. In Japan war es damals ein Zeitalter des totalen Krieges und der nationalen Mobilisierung. Diese kurzen Gedichte offenbarten die Grundstimmung des totalen Kriegssystems bzw. des nationalen Mobilisierungssystems, und diese Gedichte selbst sind gerade aus einer solchen Grundstimmung entstanden. Es war die Grundstimmung, ausschließlich in den Krieg getrieben zu werden. Mit der Grundstimmung des totalen Kriegssystems war auch der Dichter Saito vom Krieg begeistert und führte, wie andere Dichter und Schriftsteller, das japanische Volk in den Krieg.³ Im damaligen totalen Kriegssystem wurden die gewöhnlichen Menschen als „Volk“ in den Krieg der Nationen getrieben. Mit anderen Worten: Unter der Idee des „Volkes“ wurden die gewöhnlichen Menschen vereint und gezwungen, die Kämpfe sozusagen als „Heimatfront“ zu unterstützen. „Volk“ und „Heimatfront“ wurden im totalen Kriegssystem zu den führenden Ideen, die die Menschen in den Krieg trieben.

Im Rahmen des totalen Kriegssystems, in dem das Nationale Mobilisierungsgesetz durchgesetzt wurde, wurden alle materiellen und personellen Ressourcen für den Krieg eingesetzt.⁴ Beispielsweise beschrieb der *Haiku*-Dichter Hakusen Watanabe (1913-1969) die damalige Situation im folgenden Gedicht:

戦場へ手ゆき足ゆき胴ゆけり

Auf dem Schlachtfeld
Gingen die Hände, gingen die Beine
Ging der Rumpf!

Im System des totalen Krieges wurden Soldaten, die auf das Schlachtfeld geschickt wurden, nicht als einzelne Menschen behandelt, sondern als Material, gleichsam als wären ihre Körper Teile für den Krieg. Der Krieg hat jeden Teil des menschlichen Körpers auf das Schlachtfeld gebracht. Das war der grundlegende Trend des totalen Kriegssystems.

Was das totale Kriegssystem bzw. das nationale Mobilisierungssystem den Menschen brachte, war eine äußerst miserable Situation. Nachzulesen ist das beispielsweise in den folgenden Gedichten:

南瓜を猫の食ふこそあはれなれ大きたたかひここに及びつ

Kürbisse zu fressen,
Ist für Katzen
Erbärmlich!
Der Krieg hat erreicht
Endlich diesen Punkt! (aus: Mokichi Saito, *Shoen* (1949))

なほ幾世代つづく戦争を思ふ時子孫のことなど入り来らず

Wenn ich darüber nachdenke,
Wie viele Generationen

³ Im System des totalen Krieges wurden Schriftsteller und Dichter, ob es ihnen gefiel oder nicht, 1942 in eine literarische Organisation eingegliedert und an Aktivitäten beteiligt, um die Bevölkerung über die nationale Politik zu informieren und sie zum Krieg aufzustacheln.

⁴ In Japan wurde 1938 das Nationale Mobilisierungsgesetz erlassen.

Der Krieg noch dauern wird,
Kommen mir Nachkommen
Nicht in den Sinn. (aus: Bunmei Tsuchiya, *Shoanshu* (1943))

Einmal während des Krieges sah Saito eine Katze, die versuchte, einen Kürbis zu essen, den sie normalerweise nicht essen würde, was wirklich erbärmlich war. Für die Japaner mündete der Weltkrieg schließlich in eine solche missliche Lage. Das Leben während des Krieges war äußerst schwierig. Beim Gedanken an den endlosen Krieg konnte der *Tanka*-Dichter Bunmei Tsuchiya (1890-1990)⁵ nicht an zukünftige Nachkommen denken. Inmitten des Kriegszustands, dessen Ende nicht in Sicht war, befanden sich die Menschen in einem Geisteszustand ohne Hoffnung auf die Zukunft.

Während des Krieges wurden die Menschen im Rahmen des totalen Kriegssystems als „Volk“ in den Krieg getrieben und waren begeistert, sowohl Dinge als auch Menschen wurden in die Schlacht getrieben. Im totalen Kriegssystem herrschte die Grundstimmung des „Getrieben-werdens“ – es wurden nicht nur die materiellen und menschlichen Ressourcen in den Krieg getrieben, auch die Menschen wurden dazu getrieben, diese Ressourcen in den Krieg zu stecken. Auf diese Weise wurden die Menschen in den Krieg getrieben und stürzten sich in ihn. Es scheint dort ein grundlegendes Wesen zu geben, das dem von Heidegger in der modernen Technik aufgezeigten *Ge-stell* ähnelt. Daher brachte das totale Kriegssystem die Menschen sowohl lebensmäßig als auch geistig in eine missliche Lage.

2. Erwachen aus dem Krieg

Bekanntlich wurden im August 1945 zwei Atombomben auf Japan abgeworfen und kurz darauf kapitulierte Japan bedingungslos. Nicht nur Hiroshima und Nagasaki, wo Atombomben abgeworfen wurden, sondern auch die Hauptstadt Tokio und andere Großstädte wurden in Schutt und Asche gelegt. Das politische System, in dem das Militär bis dahin faktisch die Macht innehatte, brach zusammen, die in den Krieg getriebene Gesellschaft und das menschliche Leben wurden von diesem Zwang befreit und zu einem Werte- und Richtungswechsel gezwungen. Auf diese Weise gerieten die japanische Gesellschaft, das Leben und der Geisteszustand der Menschen an allen Fronten ins Chaos. Zu dieser Zeit schrieben die damaligen Dichter:

あめつちに陣痛ありとおもほゆるこの時代に生きむとぞする

Als wären
Himmel und Erde in Wehen,
So scheint es mir.
In der Zukunft
Möchte ich gut leben. (aus: Mokichi Saito, *Shoen*)

苦しみは血しほ汗垂り下るとも正しき命生きざらめやは

Auch wenn vom Leiden

⁵ Japanischer Literaturwissenschaftler und *Tanka*-Dichter. Er gehörte zum gleichen Verband von Dichtern wie Saito und bestand darauf, das Leben als lebende Person bzw. Arbeiter in *Tanka*-Dichtung zu beschreiben.

Blut und Schweiß tropfen werden,
Laßt uns danach streben,
Ein gerechtes Leben
Zu führen! (aus: Bunmei Tsuchiya, *Yamashitamizu* (1948))

Die Nöte und Qualen, die die Niederlage mit sich brachte, akzeptierte Saito als „Wehen des Himmels und der Erde“ – d. h. den Schmerz der Geburt einer neuen Welt und Ära – und drückte seinen Willen aus, in der neuen Ära nach Kriegsende gut zu leben, obwohl ihm heftig vorgeworfen wurde, während des Krieges viele Werke geschaffen zu haben, die die Menschen zum Krieg drängten. Unmittelbar nach Kriegsende zeigte Tsuchiya seine Entschlossenheit, gerecht zu leben: Es muß zwar schwierig sein, sich von den Ruinen des Krieges zu erholen, aber laßt uns versuchen, gerecht zu leben, auch wenn Blut und Schweiß tropfen werden. Als der tragische Krieg zu Ende ging, erwachte Tsuchiya aus der Grundstimmung des Kriegsregimes und strebte nach Gerechtigkeit.

Einige Intellektuelle richteten ihren Blick auf die Gesellschaft und das Denken in der Kriegszeit und reflektierten ihre eigene Einstellung. Beispielsweise schrieb der *Tanka*-Dichter Yoshimi Kondo (1913-2006)⁶:

世をあげし思想の中にまもり来て今こそ戦争を憎む心よ

Gegen den Gedanken,
Den jeder in der Gesellschaft vertrat,
Habe ich verteidigt
Und verkünde jetzt
Den Haß auf den Krieg! (aus: Yoshimi Kondo, *Hokorifukumachi* (1948))

戦争の時を何して生きて来しきたなき自我を互ひに曝す

Was haben wir getan,
Während des Krieges,
Um zu überleben?
Unser häßliches Selbst
Entblößen wir einander. (aus: Yoshimi Kondo, *Shizukanaruishi* (1949))

In der Kriegszeit bewahrte Kondo seinen geheimen Gedanken – d. h. den Widerstand gegen den Krieg –, während die Gesellschaft als Ganzes von militaristischen Ideen getrieben wurde. Er sagte, jetzt sei es an der Zeit, seinem Haß auf den Krieg Ausdruck zu verleihen, da der Krieg nun zu Ende sei. Die Entschlossenheit gegen den Krieg, die beibehalten wurde, während die Menschen zum Militarismus getrieben wurden, wurde offen zum Ausdruck gebracht. Darüber hinaus stellte Kondo rigoros die Frage: Was hat er während des Krieges getan, um zu überleben? Die selbstreflexiven Menschen versuchten, ihr häßliches Ego sehen zu lassen, das nicht das getan hatte, was es hätte tun sollen.

Mit dem Ende des Krieges in Form einer furchtbaren Niederlage erwachten die japanischen Menschen aus der Grundstimmung des Kriegsregimes. Der unglückliche Schock, den Krieg durch bedingungslose Kapitulation

⁶ Architekt und *Tanka*-Dichter. Er lernte *Tanka*-Dichtung bei Tsuchiya und verfaßte Gedichte über die Situation des Zeitalters aus der Sicht eines Intellektuellen, der den Krieg erlebt hatte.

verloren zu haben, befreite andererseits die Menschen glücklicherweise von der Grundstimmung des totalen Kriegssystems und weckte sie aus ihrer Verstrickung in den Krieg. Sie empfanden als verantwortlicher Verlierer den Schmerz der Niederlage als Wehen, die den Beginn einer neuen Ära begleiteten, oder sie waren entschlossen, sich vom Tiefpunkt zu erholen, auch wenn es sehr schwierig war, und versuchten, die missliche Lage nach dem Krieg zu überwinden. Darüber hinaus dachten die Menschen mit gesundem Menschenverstand über ihre Kriegseinstellung nach und erneuerten ihre Antikriegsentschlossenheit oder verstärkten ihre Entschlossenheit zur Gerechtigkeit.

3. Entschlossenheit zum Frieden

Der Zweite Weltkrieg endete, aber wie wir alle wissen, herrschte auf der Welt kein Frieden. In unserer Welt entstand das Regime des sogenannten Kalten Krieges zwischen den westlichen und östlichen Ländern, und es entwickelte sich ein Wettrüsten zwischen den großen Mächten. Auch kam es in mehreren Teilen der Welt zu militärischen Konflikten, und die Beteiligung der Großmächte des Regimes des Kalten Krieges an den Konflikten führte zu Kriegszuständen. Den Menschen in Japan, wie auch den Menschen in anderen Teilen der Welt, war dieses Weltgeschehen keineswegs gleichgültig. Zum damaligen Weltgeschehen schrieben die *Tanka*-Dichter:

白き人間まづ自らが滅びなば蝸牛幾億這ひゆくらむか

Wenn die weißen Menschen
Sich selbst zuerst
Vernichten würden,
Würden Hunderte Millionen Schnecken
Um die Erde kriechen? (aus: Bunmei Tsuchiya, *Seinanshu* (1967))

戦争を拒まんとする学生ら黒く喪の列の如く過ぎ行く

Die den Krieg
Ablehnenden Studenten
Ziehen vorbei
In Schwarz
Wie ein Trauerzug. (aus: Yoshimi Kondo, *Rekishu* (1951))

Während die Großmächte in der Zeit des Kalten Krieges ein nukleares Wettrüsten entwickelten, wurden viele japanische Fischerboote im Jahr 1954 bei Atomtests im Pazifik radioaktiver Strahlung ausgesetzt, ihre Besatzungen kamen daraufhin ums Leben. Dieser tragische Vorfall wurde damals in Japan zu einem heißen Thema, und Tsuchiya schrieb das eben zitierte Gedicht. Wenn zuerst die Menschen, die Atomwaffen entwickelten, untergehen würden und dann die gesamte Menschheit zugrunde gehen würde, würden Hunderte Millionen Schnecken gedeihen und sich über die Ruinen der Erde ausbreiten. Im Gedicht wird das nukleare Wettrüsten der Mächte in der Nachkriegszeit kritisiert. Im asiatischen Raum hingegen kam es aufgrund militärischer Auseinandersetzungen zwischen verfeindeten Mächten und der Intervention der Großmächte erneut zum Krieg. Die Menschen in Japan, die die Schrecken des Krieges erlebt hatten, erhoben sich in der

Antikriegsbewegung, und mit Sympathie beobachtete der Dichter Kondo die damaligen Antikriegsdemonstrationen. Ein Marsch von Kriegsgegnern, hauptsächlich Studenten – sie trugen schwarze Schuluniformen –, zog wie ein Trauerzug vorbei.

Als Intellektueller blickte Kondo demütig auf die Geschichte Japans zurück und dachte tief darüber nach, wie das japanische Volk nach dem Krieg sein sollte. Er richtete seinen Blick auch auf die Zukunft der Menschheit und dachte ruhig darüber nach, wie die Menschen sein sollten, die auf der Welt leben. Dann schrieb er die Gedichte:

つつましき保身をいつか性として永き平和の民となるべし

Indem wir es eines Tages
Zu unserem Charakter machen,
Uns bescheiden zu halten,
Müssen wir ein Volk werden,
Das dauerhaften Frieden schützt. (aus: Yoshimi Kondo, *Hokorifukumachi*)

人工衛星忘れられつつ空を飛び守り合う地の上の生活と平和

Satelliten
Fliegen weit über uns
Völlig vergessen,
Andererseits schützen wir miteinander
Das Leben und den Frieden auf Erden. (aus: Yoshimi Kondo, *Kansei* (1960))

In einer Reflexion über Japans Geschichte mit dem Krieg behauptet Kondo: Indem wir danach streben, es zum Charakter des japanischen Volkes zu machen, bescheiden zu bleiben, müssen wir ein Volk werden, das den Frieden für immer beschützt. Wenn nur die Welt in Frieden wäre, müßten ein bescheidenes Leben und ein bescheidenes Glück ausreichen. Nach dem Ende des tragischen Krieges bekräftigte Kondo seinen Entschluß, dabei mitzuhelfen, ein Volk zu schaffen, das den Frieden schützt. Darüber hinaus verdeutlichte Kondo das Schicksal oder die Verantwortung der auf der Erde lebenden Menschen im Gegensatz zum Fortschritt der Menschheit durch Wissenschaft und Technologie. Am fernen Himmel fliegen Satelliten mit modernster Wissenschaft und Technologie, auch wenn wir uns ihrer Existenz nicht bewußt sind. Andererseits versuchen die Menschen auf dieser Erde jeden Tag verzweifelt, ihr Leben und ihren Frieden zu schützen. Unabhängig davon, wie sehr sich Wissenschaft und Technologie weiterentwickeln, müssen wir Menschen unser tägliches Leben und den Weltfrieden auf dieser Erde gemeinsam schützen. Die Entschlossenheit der Menschen, die in dieser Welt leben, kommt darin zum Ausdruck.

Als Volk, das nicht geringe Verantwortung für den tragischen Krieg trägt, haben die damaligen japanischen Menschen ihre feste Entschlossenheit zum Ausdruck gebracht, daß sie von nun an bescheiden bleiben und ein Volk werden müssen, das den Frieden schützt. Mit dieser Entschlossenheit erhoben sich die Menschen gegen die militärische Expansion der Großmächte nach dem Krieg und schlossen sich der Antikriegsbewegung an. Wie Kondo mit seiner Dichtung appelliert: Egal wie spektakulär die Entwicklung von Wissenschaft und Technologie auch sein mag, wir müssen unser tägliches Leben und den Weltfrieden auf dieser Erde schützen. Das muß die unaufgebbare Verantwortung der Menschheit sein, die in der heutigen Zeit auf der Erde lebt.

* * *

Reicht es nicht, wenn wir „ein kleines Glück“ bzw. „ein bescheidenes Glück“ bekommen? Der Mensch sollte wissen, daß er genug von dem hat, was er braucht, und übermäßige Wünsche vermeiden. Nur dann können wir einen „nachhaltigen Frieden“ auf der Erde erreichen. Wie wir heutzutage an unserem Umgang mit Klimawandel und Energieknappheit erkennen können, wird menschliches Handeln im kommenden Zeitalter eine bescheidene Haltung erfordern. „Bescheidenheit“ muß eine wesentliche Tugend für ein nachhaltiges Leben der Menschheit auf der Erde sein.⁷

漠然と恐怖の彼方にあるものを或いは素直に未来とも言ふ

Was vage

Jenseits unserer Ängste

Liegen würde,

Nennen wir manchmal

Geradeheraus die Zukunft. (aus: Yoshimi Kondo, *Hokorifukumachi*)

In der Instabilität der Nachkriegszeit versuchte Kondo, jenseits der Angst eine hoffnungsvolle Zukunft zu finden. Ebenso möchten wir in der Welt der ständigen Angst ehrlich glauben, daß es jenseits dieser Angst eine vage, aber vielversprechende Zukunft gibt.

Nachbemerkung

Nach Kants Kategorischem Imperativ ist die Maxime „Um meines Landes willen verletze ich Menschen anderer Länder“ eindeutig falsch. Doch der Krieg hört nie auf. Warum? Ist Kants Kategorischer Imperativ falsch? Oder ist Kants Kategorischer Imperativ machtlos? Haben die Menschen schließlich keine andere Wahl, als mit dem Krieg zu leben?

Wenn wir logisch und mathematisch davon ausgehen würden, daß den Menschen keine andere Wahl bleiben würde, als mit dem Krieg zu leben, würde es am Ende nur noch einen Menschen auf der Erde geben, der als Gewinner aller Kriege gelten könnte. Und dieser eine Mensch würde im Tod enden, weil er nur einer wäre. Die Menschheit würde auf diese Weise unweigerlich untergehen.

Da nicht entschieden ist, daß die Menschheit nicht zugrunde gehen darf, ist es nicht notwendig, das Ende, in dem alle Menschen sterben, zu verhindern. Wenn wir also denken würden, daß der Mensch keine andere Wahl hat, als mit dem Krieg zu leben, dann müßten wir die Zerstörung der Menschheit akzeptieren. Ich muß leider diese Welt verlassen, bevor die Schlußfolgerung einer solchen Argumentation in der Realität klar wird. Wie wird sie enden?

⁷ Seit dem Ende des Krieges sind mehr als 70 Jahre vergangen, und während die Erinnerungen an den tragischen Krieg verblassen, machen der Reichtum, der durch die wirtschaftliche Entwicklung geschaffen wurde, und die Bequemlichkeit, die durch Fortschritte in Wissenschaft und Technologie entstanden ist, die Menschen wieder arrogant. Wir müssen uns noch einmal an die Entschlossenheit von Menschen mit gesundem Menschenverstand nach der Niederlage erinnern.

Nachwort

Der Hauptteil dieses Aufsatzes entstand ursprünglich aus dem Manuskript meines deutschen Vortrags, der am 29. September 2023 bei der > 10. Tagung für Praktische Philosophie < an der Universität Salzburg in Österreich gehalten worden war. Trotz den verschiedenen Schwierigkeiten im Zusammenhang mit dem gegenwärtigen Ukraine-Krieg konnte ich auch dieses Jahr Salzburg besuchen und dort einen Vortrag halten, worüber ich mich sehr gefreut habe. Ich danke den Organisatoren der Tagung dafür, daß mir die Gelegenheit gegeben wurde, den Vortrag zu halten, und insbesondere den Zuhörern, die mir hilfreiche Hinweise gegeben haben.

受理日：2023年10月31日

Evaluation of Parallelization of Programs Using Generative AI

Takayuki TATEKAWA

Abstract

The technology of generative AI, which produces output based on learned data patterns and relationships in response to natural language information input by the user, is rapidly developing. In this paper, we attempted to reduce the parallel programming effort by inputting computer programs that are considered to have high compatibility with generative AI and instructing them to parallelize based on a standardized specification. The results indicated that parallelization was possible to avoid incorrect processing for programs that were only practice problems, but for complex programs actually used in the natural sciences, parallelization caused a variety of errors. At present, parallelization of a program by a generative AI requires a human operator who is familiar with parallelization techniques to confirm the output results and modify them.

Keywords: Parallelization, Generative AI, Programming

1 はじめに

データのパターンや関係を学習し、新しい文章や画像を生成する「生成AI」の発展が目覚ましい。具体的なデータセットを学習して決められたルールに従い結果の出力を自動化する従来のAIとは異なり、非構造化データを学習し新たなものを生成することが特徴と考えられる。一方で、学習のために使用したデータの権利の取扱いや、教育現場における学生、生徒、児童の学習の放棄につながらないかという懸念もある^{1).2)}。

本論文では、生成AIが得意としているプログラミングについて評価の一例を示す。研究分野によっては、大規模なシミュレーション、データ解析を必要とする場合がある。その際には処理を行うためのプログラムの性能が、処理時間に大きな影響を及ぼす。

特に本論文では並列処理に着目する。かつてはプロセッサ（CPU）が複数搭載され並列処理が可能な計算機は、スーパーコンピュータなどの高価な計算機に限られていた。ところが個人用PCにおいて、1つのプロセッサに複数のプロセッサ・コアを搭載した製品が出荷されるようになった。例えば2005年にAMD社がAthlon 64 X2を、Intel社がPentiumDを発表している。この発表以降、複数のプロセッサ・コアを搭載したプロセッサが個人用PCにも徐々に搭載されるようになった。つまり、個人レベルでも複数のプロセッサ・コアを用いて並列処理を行うことにより、処理の高速化の恩恵

¹ 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科 教授

を受けられる。

並列処理を行うためのプログラミングには様々な技法がある。高知高専では情報セキュリティコース5年に設置されている「ハイパフォーマンスコンピューティング」で半期をかけて背景となる知識やプログラミング技法を学習する。学習の際に、「並列処理による処理時間の短縮よりも、プログラムの並列化のコストが多大であるならば、並列処理のメリットはない」と述べている。並列処理に慣れない方にとっては、プログラムの並列化はハードルが高いと思われる。

そこで既存のプログラムを生成AIに並列化させることで、プログラムの並列化のコストを下げ、利用者が並列処理の恩恵を受けやすくなるかどうかを評価することが、本論文の目的である。既存のプログラムを並列化させる文章を生成AIに入力し、出力結果を実際に動作させ評価することで、生成AIによる並列化がどれくらい有効かを判断する。なお、本論文ではC言語のみ評価している。

2 並列化の手法

2.1 並列化可能なプログラムとは

プログラムにおける基本的な処理は、大きく3つに分けられる。その3つとは、処理を1つずつ順序立てて行う逐次処理、条件に応じて処理を変える分岐処理、処理を繰り返す反復処理である。これらの処理の中で、並列化を行う処理は反復処理である。同じ処理を多量のデータに繰り返し行う反復処理を並列化することにより、プログラム全体の実行時間を短縮できる。

ただし反復処理であっても、並列化できる場合と出来ない場合がある。並列化できる簡単な例は、巨大な行列の積の計算である。 $N \times N$ 正方行列 A, B を考え、行列の i 行 j 列の成分をそれぞれ a_{ij}, b_{ij} と表すことにする。行列の積の計算

$$C = AB,$$

は $N \times N$ 正方行列 C の i 行 j 列の成分 c_{ij} を求める際に、以下の計算を行うことをなる。

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^N a_{ik} b_{kj}$$

行列の成分を求めるには i, j それぞれについて1から N まで繰り返さなければならない。 i, j に対する反復処理を並列化することで、行列の積の計算を高速化できる。

一方で、並列化できない処理の例として、フィボナッチ数列の漸化式の計算を考える。

$$a_{k+2} = a_{k+1} + a_k, a_1 = a_2 = 1$$

漸化式は、「前の計算の結果を用いて、次の計算を行う」ものである。このため、例えば a_{100} の値を知りたい場合には、 a_{99} までの値を順次求めていかなければならず、並列化が出来ない。強引に並列化を行うと、未知の値を用いることになり、計算結果に誤りを生じる。

プログラムの並列化を行う場合には、まず上記のように並列化をして支障のないプログラムかどうかを考える必要がある。

2.2 OpenMP

OpenMPは、共有メモリ型の計算機で並列処理を行うプログラムを作成するための、標準化されたAPIである³⁾。並列化したい反復処理の部分に、指示文（ディレクティブ）を明示的に記載する。そして、OpenMPに対応したコンパイラでコンパイルする。Linuxなどで使用されるフリーのコンパイラであるGCCは、OpenMPに対応している。並列処理の際にはマルチスレッドで実行され、プログラムの同じ変数は基本的に同じメモリ領域に格納される。


```
#pragma omp parallel for
for (i=0; i<N; i++){
    /* 反復処理される命令一式 */
}
```

図1 OpenMPによる並列化の指示文記載の例

OpenMPによる指示文記載の例を図1に示す。#pragma から始まる1行により、直後のfor文による反復処理が並列化される。実行の際に特に明示しなければ、計算機に搭載されているプロセッサ・コアの数と同じ並列度で実行される。たとえば4つのプロセッサ・コアを搭載するプロセッサを用いた計算機では、並列度4で実行される。

2.3 MPI

Message Passing Interface (MPI) は、分散メモリ型の計算機で並列処理を行うプログラムを作成するための、標準化されたAPIである^{4),5)}。OpenMPとの違いは、ネットワークを介して接続された複数の計算機上で、一つのプログラムを並列実行できることである。MPIでは例えばオープンソースのOpenMPIが存在し、様々な計算機で使用することが出来る。

MPIの利点は、複数の計算機上での並列化が出来るため、大規模計算に非常に適しているという事である。その一方で、並列処理はマルチプロセスで動作し、プログラム作成時にはプロセス間のデータなどの通信処理を明示的に記述するため、OpenMPに比べて並列化プログラムの作成に手間がかかる。

3 生成AIによる並列化の試み

3.1 生成AIに対するプログラム変換の実行

本論文では、プログラムの変換にはOpenAI社のChatGPTを使用した⁶⁾。ChatGPTには自然言語処理のモデルGPT-3.5が搭載されており、対話形式での質疑応答が可能である。並列化に際しては「以下のプログラムをOpenMPによる並列化で高速化してください。」のように文章を記述した後に、プログラムのソースコードを転載する。ChatGPTにおいては入力、出力の文字数に制限がある。このため、長いプログラムの並列化を行う場合には、入力の際はプログラムの一部分を切り出したり、主要部分だけを要約したりする必要がある。また、出力についても、文字数制限などで省略された部分について、重ねて質問する必要がある。

本論文では2023年9月から10月にかけてプログラムの並列化を試みた。その後のChatGPTの学習状況によっては、精度の高い並列化がなされる可能性があることに注意が必要である。

3.2 行列の積の例

まず、式(2)で示すような行列の積のプログラムについて、並列化を試みる。並列化前のプログラムにおいて、行列の積を計算する反復処理の行だけを図2で示す。

```

for (i=0; i<N; i++){
  for (j=0; j<N; j++){
    for (k=0; k<N; k++){
      c[i][j]+= a[i][k] * b[k][j];
    }
  }
}

```

図2 行列の積を計算する，並列化前の反復処理

OpenMPによる並列化を試みると，注意を払うべきところは払われたが，少々回りくどい変更がなされた。実行してみると，OpenMPによる並列化が成功している。OpenMPでは特に指示をしなければ，同じ変数は同じメモリ領域に格納される。ところが，一番外側の変数*i*に関するループを並列化すると，並列化された各々のスレッド内で内部のループで現れる変数*j*, *k*が使用される。各スレッドで*j*, *k*を別のもので扱わないと，内部のループが正常に処理されない。このため，並列化の宣言ではprivateというオプションで，各々の変数は独立とみなすプライベート変数であると明示する必要がある。また，行列の成分の計算において，足し上げの部分である変数*k*のループを並列化して，各々のスレッドごとに足し上げを行い，最後に総和を行うreductionというオプションが追加されている。

```

#pragma omp parallel for private(i, j, k) shared(a, b, c)
schedule(static)
for (i = 0; i < N; i++) {
  for (j = 0; j < N; j++) {
    double temp = 0.0;
    #pragma omp parallel for reduction(+:temp)
    schedule(static)
    for (k = 0; k < N; k++) {
      temp += a[i][k] * b[k][j];
    }
    c[i][j] = temp;
  }
}

```

図3 行列の積を計算する，OpenMPによる並列化後の反復処理

同様の並列化をMPIで行う場合についても実行した。MPIによる並列化も成功している。プログラムが長くなるので掲載は省略するが，「司令塔」となるランク0と名付けられたプロセスから，各プロセスに対し行列A, Bのデータが配布される。各プロセスでは分割された範囲で行列の積の演算処理を行い，行列Cの部分的な結果をランク0のプロセスに返す。

3.3 数値積分の例

次に数値積分について並列化を行う。数値積分は、定積分

$$I = \int_a^b f(x) dx$$

を、積分範囲を n 個の等間隔の区間に細かく区切って足し合わせるシンプソンの公式を用いる⁷⁾。

$$I = \frac{\Delta x}{3} \sum_{k=0}^{n/2} (f(x_{2k}) + 4 \cdot f(x_{2k+1}) + f(x_{2k+2}))$$

シンプソンの公式を用いた積分では、並列化において積分範囲をいくつかの区間に区切って、各々の区間での足し上げを行い、最後に取りまとめて総和を行う。演算は図4の様に行う。関数 $f(x)$ は別途定義しておく。OpenMPではreduction, MPIではMPI_Reduceという命令を用いて指示すると、並列化して総和を行うことが出来る。

```
S=0.0;
for (i = 0; i < N/2; i++) {
    x=(2.0*(double)i)*dx;
    S+=(f(x)+4.0*f(x+dx)+f(x+2.0*dx))*dx/3.0;
}
```

図4 シンプソンの公式による数値積分を行うための反復処理

単純な一重積分の場合には、OpenMPでは図5のように正しい命令文が追加された。MPIでも、MPI_Reduceを用いたプログラムに正しく変換がなされた。

```
#pragma omp parallel for private(x) reduction(+:S)
```

図5 図4の反復処理をOpenMPで並列化した時に追加された行

ところが、以下のような二重積分を行う場合には問題が生じた。

$$\int_{-L}^L dx \int_{-L}^L dy f(x, y)$$

この積分を数値的に行うには、図6のような二重ループが必要となる。積分範囲が x, y それぞれで対称であることから、for文を用いたループを $-N$ から N の範囲で記した。

```
for (i = -N; i < N; i++) {
    for (j = -N; j < N; j++) {
        /* 数値積分の演算 */
    }
}
```

図6 二重積分の数値積分を行うための反復処理

このプログラムの並列化を指示したところ、OpenMPの場合には j をプライベート変数に指定しないプログラムを出力した。また、MPIの場合には i の範囲を $0 \leq i < N$ と誤認識したプログラムを出力した。このため、出力されたプログラムを人間が確認して修正する必要があった。

3.4 自然科学のプログラムに対する例

最後に、自然科学の研究で用いるプログラムの並列化を試みる。宇宙に存在する様々な天体は、主に重力（万有引力）によって互いに引き合い集まって、現在のような姿をなしたと考えられる。そこで物質を質点の集団とみなし、互いに及ぼしあう重力によって、系全体がどのように進化するかというシミュレーションが長年なされている⁸⁾。N個の質点を考えて番号を振る。これらの質点で、i番の質点に及ぼされる重力は以下のように計算される。

$$\vec{F}_i = \sum_{j \neq i}^N G \frac{m_i m_j}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|^3} (\vec{r}_j - \vec{r}_i)$$

m_i は i 番の質点の質量、 \vec{r}_i は i 番の質点の位置ベクトル、G は重力定数である。重力の計算は全ての質点同士でなされるので、 $O(N^2)$ の計算量となる。アルゴリズムの工夫により $O(N \log N)$ に計算量を減らすことが出来るが、本論文では $O(N^2)$ の計算量のアルゴリズムのまま、並列化がなされるかどうかを調査する。

やや長いが、具体的には図7のような反復処理の並列化を行う。

```

for(i=0;i<n;i++) {
    for(k=0;k<3;k++) a[i][k] = 0.0;
    pot[i] = 0.0;
    for (j=0;j<n;j++) {
        for(k=0;k<3;k++) dx[k] = x[j][k] - x[i][k];
        r2 = dx[0]*dx[0] + dx[1]*dx[1] + dx[2]*dx[2] + eps2;
        rinv = rsqrt(r2);
        mrinv = m[j]*rinv;
        mr3inv = mrinv*rinv*rinv;
        a[i][0] += mr3inv * dx[0];
        a[i][1] += mr3inv * dx[1];
        a[i][2] += mr3inv * dx[2];
        pot[i] -= mrinv;
    }
}
for(i=0;i<n;i++) pot[i] += m[i]/sqrt(eps2);
    
```

図7 万有引力の加速度と位置エネルギーを計算する反復処理

プログラム中の m , x , a はそれぞれ各質点の質量、位置、加速度を表す配列である。また、 pot は各質点が存在する場所における、単位質量当たりの位置エネルギーを表す。質点同士の距離が近づきすぎると重力が急激に大きくなるため、数値誤差回避のために $eps2$ という小さい値を導入している。また、エネルギー誤差評価のため、各質点における位置エネルギーも併せて計算する。数値誤差回避の小さい値を含めると、位置エネルギーは以下の式で表される。

$$V_i = - \sum_{j \neq i}^N G \frac{m_i m_j}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|^2 + \epsilon^2}$$

この反復処理についてOpenMP, MPIによる並列化を試みる。まずOpenMPについては、プライベート変数の指定を間違えずになされた。具体的には、先頭のfor文の前に図8で示すような行が追加された。

```
#pragma omp parallel for private(i, j, k, dx, r2, rinv, mrv,
    mr3inv) shared(a, pot, x, m, eps2, n)
```

図8 ChatGPTにより生成された図6の反復処理に対するOpenMPの指示文

また、引数jのループの中で、図9のようなif文による条件分岐がなされた。実際には $i=j$ の場合には重力を計算すると0になるので条件分岐は不要である。一方、図7で示したように、 $i=j$ の場合の位置エネルギーを余計に加算している分を修正する最後の行が残るので、位置エネルギーに誤りが生じる。

```
if (i != j) { // Exclude self-interaction
```

図9 ChatGPTにより生成された、誤った分岐処理の追加

並列化の出力結果を見て気づいたことは、並列化の際にChatGPTはプログラムの意図に気づき、「自己相互作用を除外」というコメントを追加していることである。本論文以外でプログラムをテストした時に、xやvを位置や速度を意味する変数と解釈したこともあった。MPIによる並列化を指示した場合には、データの分配、並列化、統合を行う関数を追記したが、OpenMPの場合と同様にif文による余計な条件分岐がなされた。

本プログラムの場合には、ChatGPTは部分的にはプログラムの意図するところまで解釈しているが、却って計算結果を誤らせるような並列化の処理を行っている。ChatGPTにおいて並列化を行うには、入力者がプログラムの意図や並列化で用いられる指示文、関数の意味を理解し、確認できることが必要である。

4 結論

本論文では、生成AIを用いて既存のプログラムを並列化することを試みた。共有メモリ型計算機にのみ適用できるOpenMP、分散メモリ型計算機にも適用できるMPIの2種類の手法を適用するように指示することで、並列化の手間を省くことが出来るのではないかと考えた。

適用結果は行列の積や一変数の数値積分のような、練習問題レベルではほぼ問題ない水準での並列化が出来た。しかしながら二変数の数値積分や、積分範囲の一端が0でないような数値積分では、プログラムの認識に誤りがあり、正しい並列化がなされなかった。自然科学のプログラムの例として万有引力の場合に適用した場合には、適用結果を改めて見直して修正したり、生成AIへの指示を細かく指定したりする必要があるなど、却って手間がかかった。現時点では生成AIはプログラムの並列化の補助には有用ではあるが、出力結果をそのまま用いるのではなく、人間の目で再度チェックする必要がある。

今後の応用として、グラフィックプロセッサ (GPU) へプログラムを対応させる高速化が考えられる。GPUへプログラムを対応させるためには、OpenMPと同様にGPUに処理させる反復処理を指示文で指定できる、OpenACCという規格がある⁹⁾。また、GPUの製造元であるNVIDIA社による

CUDA に対応したプログラミングを行うこともある¹⁰⁾。後者の方が高いパフォーマンスが得られるが、難度が上がる。また、GPUにプログラムを処理させる場合には、単にGPUでの処理を指示するだけでなく、計算機のメインメモリとGPU側のメモリとの通信を減らすことも重要である^{11),12)}。現時点ではまだ人間の目によるチェックが不可欠であり、並列化の実現には手間がかかるが、将来は生成AIの技術の進化により、難度の高い並列化も容易に実現可能になることが期待できる。

本論文ではプログラムの並列化にのみ着目したが、広い視野で考えると生成AIはソフトウェア開発のあり方すら変える可能性が考えられる¹³⁾。また、本論文ではプログラムを理解できる人間の目が必要であると述べたが、そのような人間を育てるプログラミング教育の方法を大きく変える可能性も考えられる¹⁴⁾。生成AIがソフトウェア開発とプログラミング教育にもたらす可能性は非常に大きく、我々は有用な活用方法を今後検討していく必要がある。

謝辞

本論文について、高知高専専攻科の濱田幸希氏には注意深く読んでいただき、誤りを指摘していただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 文部科学省：初等中等教育段階における生成AIの利用に関する暫定的なガイドライン（令和5年7月4日）。令和5年8月31日閲覧。
https://www.mext.go.jp/content/20230710-mxt_shuukyo02-000030823_003.pdf
- 2) 文化庁著作権課：令和5年度著作権セミナー「AIと著作権」（令和5年6月）。令和5年8月31日閲覧
https://www.bunka.go.jp/seisaku/chosakuken/pdf/93903601_01.pdf
- 3) OpenMP 公式サイト。令和5年9月13日閲覧。
<https://www.openmp.org/>
- 4) MPICH 公式サイト。令和5年9月4日閲覧。
<https://www.mpich.org/>
- 5) Open MPI公式サイト。令和5年9月4日閲覧。
<https://www.open-mpi.org/>
- 6) ChatGPT公式サイト。令和5年9月8日閲覧。
<https://chat.openai.com/>
- 7) W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, “Numerical Recipes 3rd Edition: The Art of Scientific Computing”, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- 8) R. W. Hockney and J. W. Eastwood, “Computer Simulation Using Particles”, Taylor & Francis, London, 1988.
- 9) OpenACC公式サイト。令和5年9月4日閲覧。
<https://www.openacc.org/>
- 10) NVIDIA CUDA Toolkit。令和5年9月4日閲覧。
<https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>
- 11) S. Portegies Zwart, R. Belleman, P. Geldof, “High-performance direct gravitational N-body simulations on graphics processing units”, New Astronomy, 12, 641-650 (2007).
- 12) T. Hamada and T. Iitaka, “The Chamomile Scheme: An Optimized Algorithm for N-body simulations on

Programmable Graphics Processing Units”, arXiv:astro-ph/0703100

- 13) 小野哲, “ソフトウェア開発にChatGPTは使えるのか?”, 技術評論社, 2023.
- 14) 三澤拓真, 福岡伊織, “フローチャッピーー理解するプログラミングー”, 第34回 全国高等専門学校 プログラミングコンテスト自由部門応募作品, 2023.

受理日：2023年10月16日

グローバル・ヒストリーにおけるギリシア海事史研究の発展

松浦真衣子¹

The Development of Greek Maritime History Studies in Global History

Maiko MATSUURA

SUMMARY

This report provides an overview of the development of global history, which has been actively discussed since the 1990s. In Part I, I reviewed the development of Japanese global history based on the depiction of Atlantic history in the "Iwanami Lectures on World History Series". In Part II, I introduced the attempt of Greek maritime history to criticize Eurocentrism and develop a network theory that transcends maritime regions.

Key words: global history, Greek Maritime History, thalassology

はじめに

本稿は1990年代から活発に議論されてきたグローバル・ヒストリーの発展を概観する。Ⅰ部では、日本のグローバル・ヒストリーの展開を「岩波講座 世界歴史シリーズ」の大西洋史の描写をもとに概観し、今後の課題を明らかにする。そして、Ⅱ部では、ヨーロッパ中心主義を相対化し、海域を超えたネットワーク論を展開するギリシア海事史の試みを紹介する。

Ⅰ. 「歴史総合」で目指されるグローバル・ヒストリーの視点

2022年4月から、世界と日本の歴史を広く相互的な視野から捉える「歴史総合」が、高校の必修科目として新たに導入された。本校も同年、「社会科学Ⅰ」の科目で初めて「歴史総合」の教科書を取り入れた。2023年度は筆者が歴史系の授業担当となったため、新しい教科書や資料集を眺めながら教材研究を重ねている。

「歴史総合」では、近現代史の大きな変化を「近代化」「国際秩序の変化や大衆化」「グローバル化」と表現している。この科目の特徴は、「主題」や「問い」を中心に授業が構成されていることである。生徒は、「問い」に答えていくことで、現代社会の構造が形成されていく過程や、それに関係する現代的な諸課題を意識的に考察していく。この方法で、本科目で指向される目標「社会的事象の歴史的な見方・考え方」が育成されていく。つまり、社会的事象を時期・推移などで捉え、類似や差異などを明確にし、事象同士を因果関係などで関連付ける視点の育成である。生徒はこの視点

¹ 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科准教授

をもって歴史資料を読み取り、世界と日本に存在する様々な課題について、歴史的・相互的な視野から分析する能力を高めていく²。

実際に教科書を眺めてみると、かつての「世界史A」と大きく異なる点は、日本史と世界史の融合、豊富な歴史的資料の提示、「問い」を通したワークの充実の3点であることが確認できる。生徒は設定された「問い」に答える中で、日本はもとより世界中の事象を比較し、時には相互のつながりを見出し、諸地域が相互に関連して現代社会に展開していく様子を学習していく。つまりグローバル・ヒストリーの視点を獲得していく。グローバル・ヒストリーの視点を取り入れた歴史教育はすでに「世界史A」の教科書でも実践されていた³。新科目では、この視点を生徒が主体的に獲得していくことが目指されている。

1. 1990年代に登場した環大西洋革命論

「歴史総合」を実践していくうえで、教員自身も地域間の歴史的事象を相互に関連づけて提示する能力が求められる。教材研究を進める中で、「環大西洋革命」というキーワードに注目した。世界史図説『タペストリー』（帝国書院）に掲載されたこの用語は、18世紀の各地域の事象を相互に関連付け、その時代の特色を提示する一つの手法として紹介されている。図説の説明によると、七年戦争を契機に繰り広げられたイギリスの産業革命とフランス革命・アメリカ独立革命・ラテンアメリカ諸国の独立は、ほぼ同時期に発生した自由主義的な要素をもつ一連の革命とみなすことができる。これらは、貿易などで結びつきを強めた大西洋を取り巻く地域で起こったため、環大西洋革命と呼ばれる。

環大西洋革命の概念は、1997年に出版された『岩波講座 世界歴史17 環大西洋革命』の中で、「二重革命⁴」論の変形版として紹介されている⁵。ここでは、西ヨーロッパを核とする世界経済が「二重革命」、特にイギリスの工業化を転換点としていかに確立されていったか「世界システム論」の視点を通して説明されていく。大西洋に面した諸地域の間で国境を超えて商品や人が移動していく。このネットワークが世界構造に変化を与え、一体化した世界が構築されていく様子が描かれている。

1990年代に歴史研究で広がっていったグローバルな視点を、いち早く教育現場に取り入れ、実践していこうとする試みも登場していた。2001年に、高等学校教諭の中野雅史は「環大西洋革命から20世紀市大衆社会へ」という授業案を作成している⁶。授業案によれば、生徒はワーク（年表1）に取り組むことで、18世紀に大西洋で起こった諸々の出来事と日本の動きを関連づけて把握していく。この授業案にも「世界システム論」「ネットワーク論」の視点を取り入れられ、歴史現象が生徒の頭の中で「像を結ぶ」ように授業が練り上げられている。

² 「高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 地理歴史編」（文部科学省、2018年）。

³ 矢部正明「グローバル・ヒストリーと歴史教育」『岩波講座 世界歴史11 構造化される世界』（岩波書店、2022年）259-275。矢部氏によれば、高等学校の世界史において、学習指導要領に先行して、しばしば教科書のなかで先進的内容が提示される。1970年代にはすでにグローバル・ヒストリーにつながる世界史を取り入れた教科書が登場していた。

⁴ 産業革命（工業化の波）とフランス革命（自由・平等、個人の基本的人権を主張するイデオロギー）とが両輪となって、ヨーロッパを中心とする近代世界を作り出していったという説。

⁵ 川北稔「環大西洋革命の時代」『岩波講座 世界歴史 17 環大西洋革命』（1997年、岩波書店）3-72。

⁶ 中野雅史「環大西洋革命から20世紀大衆社会へ—中学歴史学習を「新しい枠組み」で再構築し世界史Aへ—」『高等学校 世界史のしおり』2011年度 3学期（帝国書院、2012年）。

年表 1

イギリスの動き	フランスの動き	アメリカ合衆国の動き	ラテンアメリカの動き	日本の動き
1642～49年 () 1688～89年 ()		1607年 ヴァージニア植民地建設		
1733年 ジョン=ケイ、「飛び梭」を 発明 1765～79年 ワット、「蒸気機関」改良	1789年 () 1792年 王政廃止	1773年 ボストン茶会事件 1775～83年 () 1783年 イギリス、アメリカ合衆 国独立を承認	1791年 ハイチ革命	1792年 ラクスマン（ロ シア）根室来航
1814年 スティーヴンソン、「蒸気 機関車」発明	1804年 ナポレオン=ボナパルト、 皇帝に即位（ナポレオン 1世） 1852年 ルイ=ナポレオン、皇帝に 即位（ナポレオン3世）	1861～65年 南北戦争 1863年 リンカーン、ゲティスバー グ演説	1804年 ハイチ独立 1816年 アルゼンチン独立 1818年 チリ独立 1819年 コロンビア独立 1821年 メキシコ独立 1821年 ヘルー独立	1825年 異国に打払令 1853年 ペリー来航、開国を要求 1868年 明治維新 1874年～ 自由民権運動

中野雅史「環大西洋革命から20世紀大衆社会へ—中学歴史学習を「新しい枠組み」で再構築し世界史Aへ—」より。

2. 西洋中心主義を相対化する試み—相互作用の歴史叙述

以上のように、教育現場でも、ヨーロッパを中核とする世界の構造化の過程を叙述する手法が取り入れられていった。しかし、「世界システム論」の中核はやはりヨーロッパであり、ポストコロニアル研究が発展した近年では、西ヨーロッパ中心主義の歴史を相対化する試みが行われている。2023年に出版された『岩波講座 世界歴史15 主権国家と革命 十五世紀～十八世紀』においても、発展したイメージで語られがちな近代ヨーロッパをいかに相対化するかが課題となっている⁷。この傾向の中で、大西洋世界を扱う視点も多様化している。『主権と革命』の「展望 近世/初期近代のヨーロッパ」で、イギリス近世・近代史研究者の坂下史はグリーンとモーガンの「大西洋史⁸」を紹介している。大西洋史では、関連性や共通性が重視され、人や商品の移動、帝国の成立、思想の普及と混交、人種や民族と言ったテーマで多くの研究が盛り込まれている。ここでは、近世のヨーロッパ人と非ヨーロッパ人の出会いは、単に本国と植民地の区別をもたらしただけでは

⁷ 坂下史「展望 近世/初期近代のヨーロッパ」『岩波講座 世界歴史15 主権国家と革命 十五世紀～十八世紀』（岩波書店、2023年）3-67。以下同書を『主権と革命』と表記する。「展望」では、ヨーロッパの「近世/初期近代」をいかに叙述するかに焦点が当てられる。ヨーロッパ史では中世と近代の狭間にある15世紀から18世紀は、しばしば「初期近代（アーリーモダン）」という言葉で表現されてきた。しかし「近代」という表現はある一定の指標（民主主義、合理精神、高度な科学技術、発達した工業、資本主義など）を含んでいる。それゆえ、「初期近代」という表現は発展した「近代」に向かう途上という含みがともなう。しかし、ヨーロッパには地域差があった。一部の変化は他の地域より早く、地域ごとに別々の時間が流れる。そこで、前近代的な状態も含みながら、多様な地域ごとの変化を内包する「近世」ヨーロッパという表現の使用が提案される。このように一括りのヨーロッパを発展の中心におく視点は疑問視されている。

⁸ Jack D. Greene, Philip D. Morgan, *Atlantic History: A Critical Appraisal* (Oxford University Press, 2008).

なく、今日まで続く文化混交を出現させたという主張が下敷きとなる。両者の関係は、単純な探検や征服としてよりも、人、モノ、思想の移動と交換や、それにとまなう異文化接触の一面として捉えられていく。

大西洋を囲むヨーロッパ、アメリカ、アフリカとそこで生活する人々の相互作用を対象とする「大西洋史」と近い視点から、フランス近代史研究者の松浦義弘が執筆した論考「大西洋世界のなかのフランス革命⁹」も展開されていく。松浦義弘氏によれば、フランス革命をはじめとする一連の革命を可能にする諸条件は、人・モノ・情報の活発な流通によって支えられた18世紀の大西洋文化によって与えられた。共有された文化と文化的実践は社交団体のネットワークを形成し、印刷物とそれにとまなう思想を、国境を越えて流通させていく。その中から「世論」が誕生した。「世論の法廷」のなかで、アメリカ独立革命が生み出した「共和政」が重要なテーマとなり、旧体制に対してラディカルな批判を加える議論が展開された。このような議論から急進的なフランス革命が誕生していった。

以上のように、大西洋世界を舞台とした歴史は地域間の相互作用の歴史として描かれ、西ヨーロッパ中心の世界構造に集約していく「世界システム論」から距離を置くようになった。しかし、坂下史は、大西洋史は可能性に満ちているが、ヨーロッパについていえば、大西洋岸を中東欧や地中海世界と切り離しがちになると、問題点を指摘している。

今後、大西洋世界の出来事が、他の海域とどのように混ざり合い、世界全体のうねりを生み出して行ったのか、より広いつながりの世界史が求められている。

Ⅱ. ギリシア海運のグローバル・ネットワーク

「岩波講座 世界歴史シリーズ」の叙述を中心に、近年のグローバル・ヒストリーにおける大西洋史の展開を見てきた。大西洋はモノや思想が様々なネットワークを通して混ざり合う舞台として描かれるようになった。今後は大西洋を越えて、より広範囲の海域に及ぶネットワークの歴史叙述の進展が期待されるが、近年のギリシア海事史はこれに答えるだけの豊富なデータを提供している。

筆者が研究対象とする近代ギリシア史のなかでも、ネットワーク論を取り入れた研究は1990年代以降活発となっており、特に海事史の分野で多くの成果が見られる。ここでは、18世紀以降にギリシア人が形成してきた経済的・社会的ネットワークに注目した研究を紹介していく。前半では日本、後半ではギリシアにおける研究を紹介し、近年どのようなテーマが研究者の関心を集めているかを明らかにしていく。

1. 日本におけるギリシア商人ネットワークの研究

すでに日本でもギリシア人の商業活動に着目した研究が発表されている。特に、18世紀から19世紀の大西洋とアジアの交流を分析するために、イギリスに拠点を置くギリシア商会のネットワークが注目されている。東エーゲ海のヒオス島を起源とするラリ商会の活動はその典型である。綿製品の輸出拡大を目指す19世紀のイギリスは、中東イスラーム世界への進出を望んでいた。しかし、現地の言語にも習慣にも不慣れだった。それゆえ、オスマン帝国の非ムスリム商人と代理店契約を結び、イランとの中継貿易の拠点を手に入れようとした。しかし、ギリシア系を含むオスマン帝国の非ムスリム商人はこの契約関係を足がかりとして、逆に自らの交易ネットワークをイギリスにまで伸ばし、イギリス商人にとって代わって、商業で成功をおさめていった。近代イラン史研究者の坂

⁹ 松浦義弘「大西洋世界のなかのフランス革命」『岩波講座 世界歴史15 主権国家と革命 十五世紀～十八世紀』（岩波書店、2023年）137-168。

本勉¹⁰や水田正史¹¹の研究では、1830年代以降、ラリ商会をはじめとするギリシア商人がタブリーズ、テヘランなどに支店を開いて、イラン市場に直接参入していく様子が描かれている。つまり、この時代のイスタンブルからイランに向かって延びる交易ネットワークは、ヨーロッパ商人の直接進出を強固に阻んでいた。そのイギリスのジレンマを利用し、ギリシア人をはじめとする非ムスリム商人が勢力を伸ばした。このように、商品を運搬する主体に注目し、そのネットワークを分析することで、ヨーロッパ側からの一方的な中東イスラーム世界への進出という見方を相対化している。

2. ギリシア所有の商船と海運ネットワーク

以上のように、物流や運輸に注目し、西ヨーロッパ中心主義を相対化しようとする動きは、1990年代からギリシアの研究者の間でも活発になってきている。クレタ大学の海洋史研究者イエリナ・ハラフティスの一連の研究¹²は、ギリシア海運に焦点を当てることで、19世紀から20世紀の国境を越えた物流の歴史の主角を、西ヨーロッパ諸国から「空間的には小さな国」であるギリシアの商人、船主、船員に置き換えていく。

1995年に出版された『ギリシア所有船の海運の歴史。国際不定期船団の形成¹³』では1830年のギリシア国家の成立から1990年代に至るまでのギリシア所有の商船を調査している。この著作の第一部では、1830年から第一次世界大戦までを扱い、地中海と黒海の主要港に散在するギリシア商人の企業家ネットワークが組織化されていく様子を描いている。ここでの主角は18世紀終わりごろから徐々に黒海貿易に進出したヒオス島民とイオニア諸島民である。これら島民は親族関係や共通の出身地の人的ネットワークを軸として、黒海、地中海（イスタンブル、イズミル、アレキサンドリア、シロス島、ピレウス、マルセイユ、ジェノヴァ、リヴォルノ、ナポリ、トリエステ）さらに大西洋（ロンドン、ハンブルク、アントワープ、ロッテルダム、リバプール）まで主要な海運ルートに沿って拠点を広げていった。彼らの活動はバルク貨物の運搬に特化していき、19世紀を通じて黒海からイギリスや北欧の港に穀物を運び、イギリスから地中海まで石炭を持ち帰った。

この著作の第二部では、第一次大戦から現代までのギリシア海運を扱っている。第一次世界大戦の時期に、ギリシア船舶は国際輸送にのりだしていった。戦間期にはイギリス艦隊が衰退したため、ギリシア船主が大西洋での不定期船輸送で成功をおさめていった。1930年代には世界的な海運業の

¹⁰ 坂本勉『イスタンブル交易圏とイラン：世界経済における近代中東の交易ネットワーク』（慶應義塾大学出版会、2015年）。

¹¹ 水田正史「イギリス系海外銀行進出以前のイラン金融史：アミーノッザルブとラリ商会」『経済学論叢』45(2)、(同志社大学、1993年) 142-164。

¹² 近著ではGelina Harlaftis, *Creating Global Shipping: Aristotle Onassis, the Vagliano Brothers and the Business of Shipping, c.1820-1970*, (Cambridge, 2019). Gelina Harlaftis, *Onassis Business History, 1924-1975*, Leiden, Brill, 2023などが出版されている。

¹³ Gelina Harlaftis, *A History of Greek-Owned Shipping. The Making of an International Tramp Fleet, 1830 to the present day*, (Routledge, 1996). ハラフティスによれば、「ギリシア所有」という用語にはギリシア旗を持つ船だけでなく、ギリシア人が所有するが他の国旗を使った船も指す用語として使われてきた。1820年代まで、ほとんどすべてのギリシア人がオスマン帝国下にいた。1830年にギリシアの独立国家が成立した後もその人口は約80万人で、他の250万人のギリシア人は「未回収」の地であるギリシア国外にとどまっていた。ロイド船級協会の史料でもパナギア（聖母）、アギオス・ニコラス、アギオ・ヨルギなどキリスト教の聖人名がついたオスマン帝国の船が見られ、100純t以上のオスマン帝国の船のほとんどがギリシア人所有の船だった。さらに、1770年代のキュチュク・カイナルジ条約によって、1801年から1830年の間、ギリシアの船は主にロシア旗を使用していた。他方で、イオニア諸島は、1815年から1864年までイギリス保護領のイオニア諸島連合国に属していた。その結果、ギリシア国家成立以前、黒海や地中海東部でオスマン帝国、ギリシア、イオニア、ロシアと報告されていた多くの船は、実際にはギリシア船であった。この他、19世紀の黒海貿易を行ったイギリス船やロシア船についても、かなりの割合がギリシア船だったという議論もある。Gelina Harlaftis, *A History of Greek-Owned Shipping. The Making of an International Tramp Fleet, 1830 to the present day*, (Routledge, 1996). 41-48.

危機に見舞われたが、ギリシア人は他者が処分した船を底値で購入し、時期を見て高値で売ること、むしろ海運業を活性化させていった。第二次世界大戦以降は、便宜置籍船団を所有し、戦時中にアメリカで大量生産されたリバティ船を安値で購入し、さらには石油タンカー船輸送に参入することで、船団を継続的に拡大していった。その結果、人口1000万人足らずのギリシアが世界最大の船団を所有することが出来た¹⁴。

二部で構成されるこの研究書で使用される史料には、税関の入港証、商業・海事に関する雑誌だけでなく、航海日誌や回顧録など個人的な史料も含まれる。これらの史料の分析から、ギリシア人企業家の血縁・地域ネットワークがギリシア海運繁栄の基盤となっていたことが証明されていく。ラリ商会を生み出したヒオス島民の企業組織も、家族関係が基盤となっていた。1830年代よりギリシア海運で先導的な地位を築いたヒオス島民のネットワークのメンバーは、もともと半数近くがヒオス島出身ではなかった。ほとんどが結婚で親戚関係に入るか、ヒオス島民の事務所でキャリアをスタートさせた。1822年、ギリシア独立戦争の中で起こったヒオス島の虐殺の後、多くの島民がイギリスにわたった。1850年代のイギリスには、ロンドン、マンチェスター、リバプールに集中する58のギリシア商館があり、ヒオス・ネットワークのほとんどすべての家族がそこに含まれていた。ギリシア商館の構造は、現代の多国籍企業に似ていて、1つのオフィスが母体の機能を果たし、他のオフィスは支店として機能した。この多国籍性、それゆえ法的に複雑になったギリシア人の企業形態は血縁・地縁のネットワークに支えられた。ラリ商会の例をとれば、1818年、ラリ家の兄弟ザニスとストラティスがリヴォルノからロンドンに渡った。その時には、彼らの兄弟アウグステイスがすでにマルセイユに拠点を置いていた。1824年には彼らの弟パンディアスがロンドンでメンバーに加わった。会社の中心的な「頭脳」となったパンディアはロンドンに残り、ストラティスはマンチェスターに、ザニスは1827年に黒海のアデッサに、そして彼らの弟のトマジスはイスタンブルにわたった。このように、ラリ家は地中海の主要港を血縁のつながりでカバーし、支店を持たない港では他の親族を通じてつながりを保った。彼らは常に船の荷主であると同時に荷受人となり、アデッサやアゾフ海からは牛脂・亜麻仁・穀物を、イランやイスタンブルから雑貨を出荷した。そして帰りはマンチェスターの織物を持ち帰った。

このような商家の男性メンバーは、幼い頃から徒弟制度や商業教育のなかで育てられた。彼らは主に外国語と家業の教育を受け、そのなかで為替手形や複式簿記といった高度な商業技術も学んだ。常に有能な親戚か、そのビジネスパートナーが自らのオフィスに若者を受け入れ、仕事を教えていった。叔父のオフィスで学んだあるギリシア商人は「ギリシアの商家、特にヒオスの商家があれだけ繁栄したのは、このような（制度が）あったからなのです」と回顧している¹⁵。

ここではヒオス・ネットワークの例を紹介したが、その後海運で活躍するギリシア商人や船主も血縁または地縁を基盤にビジネスを展開した。19世紀後半にドナウ川の穀物貿易で成功したエンピリコス家もまた、家族のメンバーに資金を提供するだけでなく、出身地のアンドロス島で関係をもつ家族すべてをビジネスに採用した。19世紀の帆船時代からすでに始まっていたギリシア船の乗組員が親族か共通の島出身者であるというシステムは、20世紀初頭の蒸気船の時代になっても継続された。1910年の蒸気船乗組員名簿の調査によれば、アンドロス島の蒸気船の乗組員の71パーセントがアンドロス出身であった。島の社会は狭く、船員の船上での活躍はすぐにその家族や村の人たちに伝わったため、船で欠員が生じた場合に容易に優秀な人材を確保できた。陸地から隔離された船内では、船員の社会集

¹⁴ 2022年の時点で、ギリシアは引き続き最大の船舶保有国で、積載量で見ると世界全体の17.63%を占めている。Review of Maritime Transport (New York and Geneva: uNCtaD, UN, 2022), 40.
https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022ch2_en.pdf

¹⁵ Gelina Harlaftis, *A History of Greek-Owned Shipping. The Making of an International Tramp Fleet, 1830 to the present day*, (Routledge,1996). 51-54.

団のメンバーだけが共有する特殊な言語や文化、航海術のメンタリティが発展した。このような人的なつながりは経済危機を乗り越える原動力ともなった。1920年代以降、戦間期の国際情勢の変化（ロシア革命、オーストリア・ハンガリー帝国の分裂、中国やインドの経済危機など）により運賃が急落する海運危機の時代が到来した。ギリシア船主も人員削減を行い、乗組員に長時間かつ過酷な労働条件を提示した。乗組員は親族関係や共通の出身島でつながっていた。さらには船主と乗組員の個人的な人間関係があった。彼らはそのような過酷な条件を許容していった。1930年代、ギリシア船は運航コストの大幅な削減とイギリス船団の衰退によって、国際航路での競争に勝利することができた。

20世紀においても伝統的な船主の家は、閉ざされた世界の中でビジネスを続けるために、古い伝統を尊重してきた。婚姻を盛んに行い、一人の男性が各企業の所有権と意思決定の大部分を支配することで運営を維持してきた。今日でも、イギリスで生まれ、生涯を過ごしたギリシア人は、島特有のアクセントでギリシア語を話し、地元の習慣に従い、結婚や埋葬のために島に戻ってくる。ハラフティスが明らかにしたギリシア所有の商船の歴史では、小さな島から国際海運を支配していく人々が主役として設定される。主役となった島民たちが重んじる「ギリシア性」は国民性ではなく、共通する起業家の文化、地縁・血縁、または国際舞台での生き残りをかけた個人的な利害関係を表している。そのような意味で、ギリシア海運の歴史は、西ヨーロッパ中心主義からも国民国家の歴史からも距離を置きつつ、グローバルでありかつローカルな歴史叙述を可能にしている。

3. ギリシア人を半周縁から中心へ導く海事史

ハラフティスの研究はギリシアの若手研究者たちに影響を与えた。ハラフティフ自身が所長を務めるクレタ島の地中海研究所（IMS）の海事史センターで、ギリシア研究者たちが豊富な史料をもとにした、数量的なギリシア海運の分析を進めている。その成果として出版された研究書が、『ギリシア海事史-半周縁から中心へ¹⁶』（以下、『ギリシア海事史』と表記する）である。

序章で、編者のカテリナ・ガラニとアレクサンドラ・パパドプルは、ギリシア海事史がここ数十年で、国際的な関心とともに発展し、目覚ましい発展を遂げたと述べている。その中で反響を呼んでいるテーマが2つある。一つ目は、海と海洋の歴史、「タラソロジー-thalassology」である。この研究テーマでは、政治的な国境を越えて海を認識する。すなわち海は、陸地を取り囲む単なる空間としてではなく、ダイナミックな変化の担い手として捉えられる。ギリシアでは主に東地中海と黒海の歴史がこの研究手法で分析され、経済地理学、経済社会学、環境史といった他の学問分野を取り込みながら、海事に関する認識を発展させている。もうひとつの中心的なテーマは、地域的、周辺の、国際的な輸送システムの形成を通じて、貿易と海運を組織したネットワークの研究である。ネットワークは人と場所の結びつきを促進し、海運と貿易の基盤となった。前述したハラフティフの研究がこれにあたる。

ギリシア海事史の近年の方法論として特徴的な点は2つある。第一に、海、海事共同体、船をそれぞれ独立した分析単位として扱うこと。第二に、量的・質的解釈を促す分厚い一次資料のデータベースを作成していることである。特に船や海事共同体に関するデータベースの作成は、ギリシア独立後も国内外に散在し、様々な国籍を有する企業・船・個人に対し、「誰がギリシア人であったか」を選ぶ作業を手助けする。例えば、19世紀にあらゆる国旗のもとで運行された「ギリシア」船の選別は、船名や船長の名前、あるいは島の船主や船会社のアーカイブから得られるデータで判断されてきた。これらのデータベースの作成作業は、1990年以降、民間企業やギリシア政府などから支援を受けた、複数の研究プロジェクトが立ち上がったことで躍進した。その成果となるデータベースの概要を表1で示しておく。

¹⁶ Katerina Galani and Alexandra Papadopoulou ed., *Greek Maritime History-From the Periphery to the Centre* (Brill, 2022).

表1 1990年以降にギリシアのプロジェクトで収集された海事史データのまとめ

地中海と黒海の世界データベース (1700~2000年)					
データベースの カテゴリ / 名称	期間	エントリ数	アーカイブの種類	アーカイブの国籍	説明
1. ギリシア船籍					
* <i>Pontoreia I</i>	1830-1939(10年間隔)	20,000	ギリシア国営船登録簿と船級協会(ロイド、ビューローベリタス、ロイド・オーストリア)、商業新聞社	オーストリア、ハンガリー、イギリス、フランス、ギリシア	1830年から2000年の間に、特定の港で登録された、あるいはギリシア船会社によって所有された、あらゆる旗のギリシア船籍の船舶が含まれている。登録項目には、船名、総登録トン数および純登録トン数、船種、船籍、船籍地、造船年月日および造船地、船長、船主会社、船主名、海運代理店の設立地が含まれている。
<i>Pontoreia II</i>	1945-2000(10年間隔)	25,000	ロイド船級協会、スコラリコス民間海事局の登録簿	イギリス、ギリシア	
2. ギリシアの航海					
* <i>Amphitrite</i>	1700-1821	15,000	地中海主要港湾都市の検疫局アーカイブ、オスマン帝国航海許可証、アムステルダム市保険アーカイブ	オランダ、フランス、ギリシア、イタリア、マルタ、スペイン、トルコ	1700年から1821年までの地中海の港におけるギリシア人所有船(ヴェネツィア、オスマン、ロシア、その他の帝国の臣民)の15,000航海記録が含まれる。
<i>Ifezion</i>	1821-1831	7,105	税関、イオニア諸島連合国官報(Gazzetta Ufficiale degli Stati Uniti delle Isole Jonie)、ギリシア暫定政府国家記録、海軍省の記録、捕獲審検所の記録	ギリシア、イオニア	1821年から1831年のギリシア革命期のギリシア所有船の航海、革命期に貿易を行ったギリシア商人、革命政府からの航海許可証、ギリシアの海軍・商船隊が登録されている。
<i>Poseidon</i>	1830-1910	40,000	英国税関の入港申告書、フランスの商業新聞	フランス、イギリス	東地中海と黒海の主な港湾都市からマルセイユとロンドンまでの、あらゆる国籍の船舶の航海を網羅する40,000の項目が含まれる。
3. ギリシアの海洋共同体					
イオニア諸島 <i>Odysseas</i>	1820-1859(5年間隔)	19,985	イオニア諸島連合国官報(Gazzetta Ufficiale degli Stati Uniti delle Isole Jonie)	イオニア	1820年から1859年までのイオニア諸島への19,985件の入港記録が5年間隔で収録されている。
スベツェス島 <i>Dievo</i>	1827-1880		スベツェス島総合国家アーカイブの公証人文書	ギリシア	1830年から70年までのスベツェス島の海運会社に関する3,900の公証行為を集めたデータベースで、船舶保証、造船契約、会社の設立と解散、船舶売買、船長の任命、海上融資、委任状などの質的証拠を統合したものである。
シロス島 <i>Margitsa</i>	1830-1870	6,508	シロス島総合国家アーカイブの公証人文書	ギリシア	シロス島の公文書館所蔵の6,508項目を含む。このデータベースは、シロス島の公文書館に所蔵されている、主に船舶登録、造船証明書、造船契約、契約書、財産法などの公証証書に基づいている。
4. ギリシア系ディアスポラ商人					
<i>Greeks of Azov</i>	1795-1914	1,882	港湾税関、ギルドのリスト、ロストフ州公文書館知事報告書	ロシア	ロシア帝国には強力な官僚機構と国家機構があり、全州から月次・年次ベースで報告書が集められていた。ロストフ州とタガログのロシア公文書館で行われた調査プロジェクトは、そこに設立されたギリシア商人一家に関する貴重な情報を提供した。さらに、このプロジェクトは、ギリシア商人一族を調査するためのツールを提供した。
<i>Greeks Merchant Banking-London, Constantinople</i>	1840-1850	10,000	イングランド銀行の口座台帳	イギリス	海運や貿易は金融や銀行と密接な関係にあったため、東西ヨーロッパの主要な金融センターであるイスタンブールとロンドンにおけるギリシア人の金融ネットワークを追跡するために、さらなる調査が行われた。
<i>Accounts of Valiano Brothers in the Bank of England</i>	1858-1882	100,000	イングランド銀行の口座台帳	イギリス	
5. 海					
黒海					
*黒海 - <i>Jason</i>	1780年代~1910年代	2,700	ロシア財務省外務部の文書、ブルガリア統計局、ルーマニア産業貿易省貿易統計局、英・仏・米領事報告書、オデッサのギリシア教会アギア・トリアス・アーカイブ、ラテンアメリカ移民研究センター・アーカイブ	アルゼンチン、アメリカ、イギリス、ブルガリア、フランス、ギリシア、ルーマニア、ロシア、ウクライナ	黒海とヨーロッパ地中海の船舶と貿易に関わるすべての国籍に拡大したデータを収集した。1780年代から1910年代までの黒海24港湾都市の経済・社会史に関するデータが含まれており、主に船舶の入出港、商船隊の登録、船主、商人、移民、貨物の輸出入に関するものである。
*黒海 - <i>Argo</i>		2,200			
黒海 - <i>Golden Fleece</i>		24,000			
黒海 - <i>Argonauts</i>		22,106			
黒海 - <i>Medea</i>		6,060			
*黒海歴史統計					調査対象となった黒海の港湾都市の海運と貿易に関する2つの統計系列から構成されている。具体的には、(a)第一の系列は、各港湾都市における船舶の入出港、総船舶数、トン数、船籍、船種、乗組員数、(b)第二の系列は、各港湾都市、国、輸出先の貿易統計、すなわち、穀物の種類に応じた輸出額と輸入額、穀物輸出額と輸出量である。統計データは、ロシア、ルーマニア、ブルガリアの公文書館およびイギリスとフランスの領事公文書館からの一次資料に由来する。これらの統計データは、 http://blacksea.gr/en/cities/ の「黒海港湾都市の統計-双方向の歴史、1780年代から1910年代」の項目からアクセスすることができる。
地中海と黒海 <i>SeaLit-FastCat</i>	準備中	準備中	海運業書類(航海日誌、口座台帳など) 海事共同体公証人アーカイブ、国家船員労働文書、人口調査	フランス、ギリシア、イタリア、スペイン、ウクライナ	SeaLit...地中海における帆船から蒸気船への移行と、それに伴う海事労働への影響を研究。地中海と黒海の多くの国から収集され、5つの異なる言語で書かれている。 SeaLit-FastCat...船員の賃金、人員比率、新旧の海事職種、貿易ルート、航海期間などの重要な問題に対処できるように、船員に関する体系的なデータシリーズを構築することを目的としている。公証人文書、公的・私的書簡、新聞、回想録などのさまざまな資料が含まれる。技術革新の圧力の下での海運と労働、メンタリティ、行動パターンへの理解を保管していく。

* www.marehist.gr および/または www.blacksea.gr に掲載

表1のデータは、『ギリシア海事史』の第二章で、ハラフティスによって紹介されている¹⁷。ハラティフは本章で、近年のギリシア海事史で重要視されているテーマを5つ挙げ、このデータベースが課題に答えるための基礎的な情報を提供していると述べている。以下、5つのテーマと、それに対応する、本書に収録されている論考の内容を簡単に紹介する。

1) ギリシアにおける海運の重要性と、20世紀後半における国民経済への影響。

ギリシア人の船隊の規模、船主とギリシアとの関係、船主のギリシア経済への投資はどのようなものであったかを分析していくというテーマである。海運はギリシア国家の枠を超えて行われるため、海運活動がギリシア経済に与える利益は、海外からギリシアへの海運収益の移転を通じてもたらされる。海運収益の最も目に見える移転は、船員や船主の送金を含む外国為替である。ギリシア国家が成立してからの最初の50年間(1830~80年)、海運収入は非常に高く、ギリシア全体のGDPの平均30%であった。1847年にはGDPの70%に達している。また、収入(利益と賃金)がもたらす経済への直接的な影響に加え、海運は、造船、船舶修理、銀行業、船舶仲介業、保険業、付帯サービス業といった関連活動のクラスターを引き起こす。19世紀の海運業の繁栄によって、東地中海の主要な造船拠点だったシロス島は、帆船を大量に生産した。帆船から蒸気船の時代へ移行すると、シロス島には蒸気船の修理工場と技術作業場が設立された。『ギリシア海事史』の第9章ではアポストロス・デリスがヘレニック蒸気船会社の例を扱い、シロス島を中心にはじまった技術革新の事例を紹介している¹⁸。

2) 20世紀におけるギリシアの船会社の発展に関する研究。

ギリシアの船主がどのような人物で、なぜ彼らが世界の海運に影響を与えるほど重要であったのかを問うテーマである。ギリシアの家族経営の海運会社は、共通のビジネス文化を発展させ、国際海上輸送に関する知識を集めていった。20世紀には、ギリシアのほとんどの海運一族が、4代、5代、6代にわたる海運経営のノウハウの伝統を受け継ぎ、世界的な活動へと拡大していった。第11章では、カテリナ・ガラニがラリ商会のアーカイブを調査している。ラリ商会は20世紀に企業グループの拡大と存続をかけて、貿易から海運業へビジネスを多角化していった。その際に利用したビジネスパートナーもまた、事業運営のノウハウを持つギリシア・ディアスポラの海運会社だった。ギリシア海運の専門知識とビジネス・ネットワークがラリ商会のような大企業を支えていた一例を示している¹⁹。

3) 18世紀から19世紀にかけて形成された企業家ネットワークの重要性

ギリシアの商社や海運会社の海事起業家ネットワークは国家を超えて形成された。彼らが仕えた帝国や国家との関係、起業家ネットワークの役割とはどのようなものだったかを問うテーマである。17世紀から18世紀にかけて、ギリシア国家はまだ存在していない。しかし、ギリシア人の商船隊は、大国同士の隙間を埋める重要な役割を果たしていった。この時代、イオニア諸島とエーゲ海のギリシア人は、ヴェネツィア臣民あるいはオスマン帝国臣民だったが、国家間を超えてお互いに共通の企業倫理と商習慣を共有して貿易を行っていた。この様子は、第三章でゲラシモス・パングラティスによって描写されている²⁰。

18世紀から19世紀初頭にかけて、地中海市場におけるギリシア人の地位は、ヨーロッパ列強間で

¹⁷ Ibid. 8-51

¹⁸ Ibid. 191- 231.

¹⁹ Ibid. 256-275.

²⁰ Ibid. 52-75.

生じた戦争を背景に強化された。大陸封鎖が続く間、ギリシアは中立の立場で大国同士の隙間を縫うように貿易を継続していった。また、オスマン帝国が西洋商人の侵入から自国の貿易を守ろうとしたことによって、非ムスリム商人であったギリシア人の立場は強化された。オスマン臣民のギリシア人はレヴァントに不慣れなヨーロッパ商人の仲介者として活躍し、西ヨーロッパと黒海をまたぐ商業ネットワークを形成していった。この様子は、カテリナ・ガラニによって第4章で論じられている²¹。

4) 海洋共同体として発展したイオニア海とエーゲ海の島々に関する研究。

海運業を営む海洋共同体を特定し、20世紀末までギリシアの海運会社にとって島嶼がなぜそれほど重要であったのかを探っていく。具体的には、海運業を営む家族や海洋共同体は政治的・経済的・技術的な近代化にどのように対応したのかを問う研究である。第10章で、エヴドキア・オリンピトゥは東エーゲ海に位置するカリムノス島における海綿漁業の変化を分析している。伝統的な素潜り漁業を行っていたカリムノス島に、19世紀終わりから潜水ヘルメット「スカファンドロ」が導入された。新技術の導入は、ダイバーたちの経済構造を一変させた。労働期間の長期化、労働の強化、専門化と分業化、家族や協同組合による労働組織から企業による労働への移行は、昔ながらの労働者の反発を招いた。しかし、最終的には島の漁業は「スカファンドロ」とともに発展し、島社会が「工業化」に適応していった²²。

5) 海の歴史へのアプローチ

海を単なる舞台や地理的領域としてではなく、ダイナミックな主体として研究していくという課題である。経済史的、社会史的、政治史的、文化史的、人類史的、技術史的、環境史的、法制史的などあらゆる方面から海を研究し、海をめぐるすべての人類の営みを通時的に捉えていくという壮大なテーマである。第6章、7章、8章では黒海が扱われている。6章では黒海発着の貿易と海運に関する統計資料が提示され²³、7章では黒海の港湾都市の建設過程が分析され²⁴、8章では黒海から東地中海にまたがるギリシアの家族ビジネスのネットワークの形成が描かれていく²⁵。

このように近年のギリシアの海事史をめぐる関心は多岐にわたり、多くの学問分野を包括しながら発展している。編者のカテリナが述べるように、ギリシアの海事史は「無国籍海洋国家」の歴史である。様々な国籍を持つギリシア・ディアスポラは広範なネットワークを築き、大国の狭間で経済的な成功を収めていった。他方で、このような企業ネットワークの揺籃の地はエーゲ海やイオニア海の小さな島の共同体であり、ギリシアの企業家たちは自らのルーツを常に意識していた。ギリシアの海運や企業家ネットワークの分析は、周縁化されがちな小さな島の共同体をグローバル・ヒストリーの中心に据えることを可能にしている。

おわりに-グローバル・ヒストリーを取り入れた歴史教育の展望

以上、グローバル・ヒストリーに関する近年の試みと課題をⅠ部では日本の研究、Ⅱ部ではギリシアの研究を中心に概観してきた。全体的に海の歴史を扱ってきたが、大西洋や地中海を分析概念とすることで、国境を越えたネットワークの歴史を見ることが出来る。しかし、ギリシア人の海

²¹ Ibid.76-104.

²² Ibid. 232-255.

²³ Ibid. 124-149.

²⁴ Ibid. 150-179.

²⁵ Ibid. 180-190.

運の事例は、あらゆる海域を超え、最終的にグローバルに広がるネットワークを構築していった。しかし、そのネットワークの主体である企業家・船主・船員はローカルな地縁・血縁に依存することで経済的な成功をおさめている。そのような意味で、ギリシアの海事史が提示するのはグローバル・ヒストリーであり、小さな島が世界を構造化する歴史でもある。

このようなグローバル・ヒストリーの視点²⁶は、日本では歴史研究だけでなく、すでに歴史教育の現場にも取り入れられつつある。高等学校教諭の林裕文によれば、「グローバル」とは“global”と“local”をかけ合わせた日本発の造語であり、「国境を越えた地球規模の視点と草の根の地域の視点で、様々な問題を捉えていこうとする考え方」を意味する。林裕文は東北地方の高校生に対し、地域と世界史とのつながりを見出す「歴史総合」の授業を提示し、高校生が「自分ごと」として「グローバル」に歴史を学んでいけるよう新しい授業の実践に取り組んでいる²⁷。

学生・生徒が遠い国の出来事をより身近なものとして捉え直し、世界に対する関心を高めるグローバル・ヒストリーの題材として、本稿で紹介したギリシア海運の歴史も有力な材料となる。ギリシアの船主同様に、日本にも船主の拠点が存在する。愛媛県の外航船主群は「愛媛船主」と呼ばれ、国内のみならず諸外国からも注目される世界有数の海運船主群である²⁸。ギリシアの島々は地縁・血縁のネットワークから独自の企業家文化が育成されたが、瀬戸内海ではどのように船主文化が育って行ったのだろうか？小さな地域が世界海運とつながることで、一見すると関連の無いギリシアの島と日本の四国の街が比較検討の中でつながる可能性がある。今後の課題として、世界海運という視点からグローバルな問いを喚起する「歴史総合」の実践例を企画していく必要があると考えている。

受理日：2023年10月26日

²⁶ 林裕文「コラム 東北地方の『グローバル・ヒストリー』としての『歴史実践』」『岩波講座 世界歴11 構造化される世界』（岩波書店、2022年）276。

²⁷ 林裕文の実践例では、福島県の郷土料理として使用されるニシンが題材となる。まず、比較材料としてヨーロッパにおけるニシンの生産・流通経路を明らかにする。次に、ニシンがアジアの流通経路に乗り、加工・輸送され、会津地方でローカライズされるまでの道のりを丹念に追っていく。このように、商品が洋の東西で生産・流通・消費される中で、多様にローカライズされていく様子を比較し、食文化をグローバルな視点で捉え直していく試みが紹介されている。林裕文「コラム 東北地方の『グローバル・ヒストリー』としての『歴史実践』」『岩波講座 世界歴11 構造化される世界』（岩波書店、2022年）276-277。

²⁸ 国内の海運拠点は、東京・横浜などの首都圏、大阪・神戸の阪神地域、岡山、広島、山口、愛媛、徳島、福岡、大分、長崎の各地にあるが、その中でも『愛媛船主』の所有する外航船数は日本全体の30%超を占め、首都圏や阪神地域の大手企業（オペレーター等）を除いた純粋な「船舶貸渡業」だけを見ると圧倒的に高いシェアを誇っている。「海運業の発達と現状～世界に誇れる地場産業『愛媛船主』の概要～」(株式会社愛媛銀行船舶ファイナンス室、2017年)。https://www.himegin.co.jp/research/report/pdf/report_kaiun2017.pdf

Thermoelectric properties of Fe-doped SnO₂ ceramics

Masahiro YASUKAWA *

Abstract

The electrical conductivity σ and Seebeck coefficient S of Fe-doped SnO₂ ceramics with nominal atomic ratios of $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.01, 0.05, \text{ and } 0.10$ were measured at high temperatures between 773 and 1073 K in air to elucidate their electrical conduction behavior and thermoelectric properties. The results show that the Fe-doped SnO₂ ceramics are n -type semiconductors that exhibit thermally activated conductivities and that the number of electron carriers increases with increasing Fe content. The n -type semiconducting behavior is attributed to electron hopping from Fe²⁺ to Fe³⁺, where the doped Fe³⁺ ions are partially reduced to Fe²⁺ ions at high temperatures. Among the investigated compositions, the ceramic with $x = 0.05$ exhibits the largest thermoelectric power factor $S^2\sigma$; the maximum value is $8.4 \times 10^{-6} \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-2}$ at 1073 K, which is approximately two orders of magnitude lower than the target value ($1 \times 10^{-3} \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-2}$) for practical thermoelectric materials.

1. Introduction

The continued development of high-performance thermoelectric materials is important because they can convert waste heat energy into useful electric energy directly. The thermoelectric performance of a material is evaluated by the dimensionless figure of merit ZT , where Z is the figure of merit and T is the average temperature between the ends of the material having a temperature difference. The figure of merit Z is estimated using the equation $Z = S^2\sigma\kappa^{-1}$, where S is the Seebeck coefficient, σ is the electrical conductivity, and κ is the thermal conductivity. According to this equation, achieving higher Z values and better thermoelectric performance for a material requires the simultaneous realization of larger S , higher σ , and lower κ values. The $S^2\sigma$ value, also known as the thermoelectric power factor, can be used to estimate the thermoelectric performance of a material without the κ value. For a thermoelectric material to have practical applications, a ZT value of 1 or greater is needed; for example, values of $S^2\sigma \geq 10^{-3} \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-2}$ for $\kappa = 1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ at $T = 1000 \text{ K}$ are desired.

Because oxide materials are generally stable at high temperatures in air, thermoelectric properties have been investigated for numerous metal oxides. Although good thermoelectric properties have been reported for several oxides containing, for example, Ti, Co, or Zn [1–9], further exploration of thermoelectric oxides with enhanced performance is needed to realize thermoelectric oxides suitable for use in practical applications. Tin (IV) oxide, SnO₂, is a thermally stable monoxide having a rutile-type structure; its characteristics include nontoxicity and easy handling. SnO₂ becomes an n -type conductor if it contains oxygen vacancies or pentavalent cations doped into the Sn sites; thus, the thermoelectric properties have been investigated for

* Department of Social Design Engineering, National Institute of Technology, Kochi College, 200-1 Monobe, Nankoku 783-8508, Japan

various SnO₂-based bulk materials [10–17]. Yanagiya *et al.* [14] reported a power factor of $1.2 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}$ at 1072 K for Sb- and Zn-doped SnO₂ ceramics sintered by the spark plasma sintering (SPS) method. Vo *et al.* [15] and Rubenis *et al.* [16] reported the thermoelectric properties of Ta-doped SnO₂ and Sb-doped SnO₂ ceramics, respectively, both of which were prepared by coprecipitation with subsequent SPS and were composed of nanosized grains. Tsubota *et al.* [17] prepared Sb-doped SnO₂ ceramics by firing mixtures containing CuO and reported a ZT value of 0.29 at 1073 K for the Sn_{0.985}Cu_{0.005}Sb_{0.01}O₂ ceramic. This previous work suggests that such SnO₂-based ceramics are promising thermoelectric oxides [17].

We have reported the preparation of dense SnO₂-based ceramics by a simple method of adding Fe₂O₃ at Fe/(Sn+Fe) atomic ratios of 0.10 or less [18]. We described that doping Fe³⁺ into the Sn⁴⁺ sites causes charge compensation to form oxygen vacancies, which promote material migration and grain growth, leading to densification of the bulk samples. We also found that the prepared Fe-doped SnO₂ ceramics are electrically insulating because they lack charge carriers at room temperature. However, the electrical conduction behavior and thermoelectric properties at high temperatures have not been reported and remain unclear. Therefore, the high-temperature thermoelectric properties of Fe-doped SnO₂ ceramics should be investigated further.

In this study, the electrical conductivity and Seebeck coefficient of Fe-doped SnO₂ ceramics are measured at high temperatures in air to elucidate their electrical conduction behavior and thermoelectric properties. The ceramics are found to be *n*-type semiconductors, likely because of electron hopping from Fe²⁺ to Fe³⁺ at the octahedral sites of the rutile-type structure.

2. Experiments

Fe-doped SnO₂ ceramics were prepared by the solid-state reaction method reported previously [18]. Powdered reagents of SnO₂ (purity $\geq 99.9\%$, Kojundo Chemical) and Fe₂O₃ (purity $\geq 99.9\%$, Wako Pure Chemical) were weighed stoichiometrically with atomic ratios $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.00, 0.01, 0.05, \text{ and } 0.10$ and mixed thoroughly with a small amount of ethanol in an agate mortar. The mixed powder was dried and molded into a disk with a diameter of 15 mm. Each compact was placed in an alumina boat and heated to 1673 K over a period of 5 h, maintained at 1673 K for 1 h, and then cooled to room temperature under flowing air. The fired disk with $x = 0.00$ did not shrink; however, those with $x = 0.01, 0.05, \text{ and } 0.10$ shrank dramatically after the firing, indicating that the Fe₂O₃-added SnO₂ disks were sintered.

The sintered disks with $x = 0.01, 0.05, \text{ and } 0.10$ were cut into rectangular-shaped bars with dimensions of $\sim 5 \text{ mm} \times \sim 5 \text{ mm} \times \sim 10 \text{ mm}$ for measurements of their electrical conductivities and Seebeck coefficients. The bulk density of the rectangular-shaped bar was estimated using the weight and the volume calculated from the bar's dimensions. The densities were 6.43, 6.40, and 6.50 g·cm⁻³ for the bar samples with $x = 0.01, 0.05, \text{ and } 0.10$, respectively, all of which are greater than 90% of the theoretical density (7.00 g·cm⁻³) calculated using the unit-cell volume for a SnO₂ crystal [19]. The microstructure and crystalline phases were examined using the remaining part cut from the sintered disk. The microstructure for the fractured surface of the sintered samples was observed by scanning electron microscopy (SEM; JEOL, JSM-6610LA). The fractured samples were washed in deionized water using an ultrasonic washer to remove debris and were then dried before being observed by SEM. The crystalline phases in the sintered samples were identified by powder X-ray diffraction (XRD) measurements with Cu K α radiation (Rigaku, RINT-Ultima III). The XRD pattern for the fired sample with $x = 0.00$ was also measured for comparison.

The electrical conductivity σ and Seebeck coefficient S of the rectangular-shaped bars with $x = 0.01, 0.05,$

and 0.10 were measured at several steady temperatures from 1073 to 773 K in air using laboratory-made equipment. Au electrodes were sputtered onto the surface of the bar sample. The σ values were measured using the standard direct-current four-probe method. The thermoelectromotive force ΔV and temperature difference ΔT between the two ends of the bar sample were measured using Pt wires and Pt/Pt-Rh thermocouples, respectively; the S values were calculated by correcting the linear gradient of $\Delta V/\Delta T$ for the thermopower of Pt [20]. The ΔT was varied within a range of ~ 5 K by cooling one end of the bar sample in a controlled airflow; approximately 10 sets of ΔV and ΔT data were acquired.

3. Results and discussion

Figure 1 shows SEM images of the fractured surfaces of the sintered samples with $x = 0.01, 0.05,$ and 0.10 . All the samples have well-densified microstructures consisting of grains grown to sizes ranging from a few micrometers to $\sim 10 \mu\text{m}$ but include numerous small pores, which lower the bulk density of the samples. However, no substantial differences were observed in the microstructures among the three ceramics.

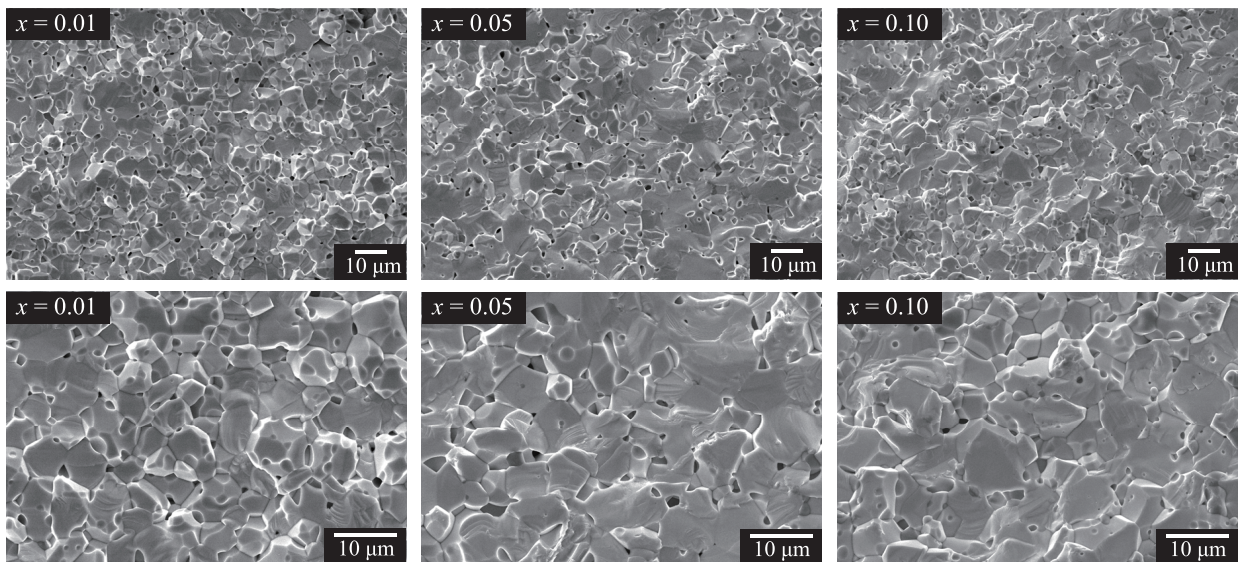


Fig. 1 SEM images of the fractured surfaces of Fe₂O₃-added SnO₂ ceramics with atomic ratios $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.01, 0.05,$ and 0.10 , fired at 1673 K for 1 h in flowing air.

Figure 2(a) shows XRD patterns for the fired samples with $x = 0.00, 0.01, 0.05,$ and 0.10 . All the XRD patterns are indexed with diffraction peaks for the tetragonal rutile-type SnO₂ [19]; however, very weak peaks (marked by asterisks) are also observed in the patterns of the $x = 0.05$ and 0.10 samples. These weak peaks are ascribed to Sn-doped Fe₂O₃ (Fe_{2- y} Sn _{y} O₃) [21], which is likely a metastable phase that remained in the ceramics in small amounts after the rapid sintering process. Figure 2(b) shows a magnification of the XRD patterns in the 2θ range $61\text{--}67^\circ$, which includes three diffraction peaks—310, 112, and 301—of the tetragonal rutile-type structure. Although no shifts are observed for the three diffraction peaks among the samples with $0.00 \leq x \leq 0.10$, the diffraction peaks of the samples with Fe₂O₃ added are broadened. In addition, the extremely weak diffraction peaks of the secondary phase Fe_{2- y} Sn _{y} O₃ even in the pattern of the ceramic with $x = 0.10$ suggest that Fe ions are successively doped into the rutile-type structure with increasing Fe content to $x = 0.10$. These XRD results are consistent with those reported in a previous paper [18].

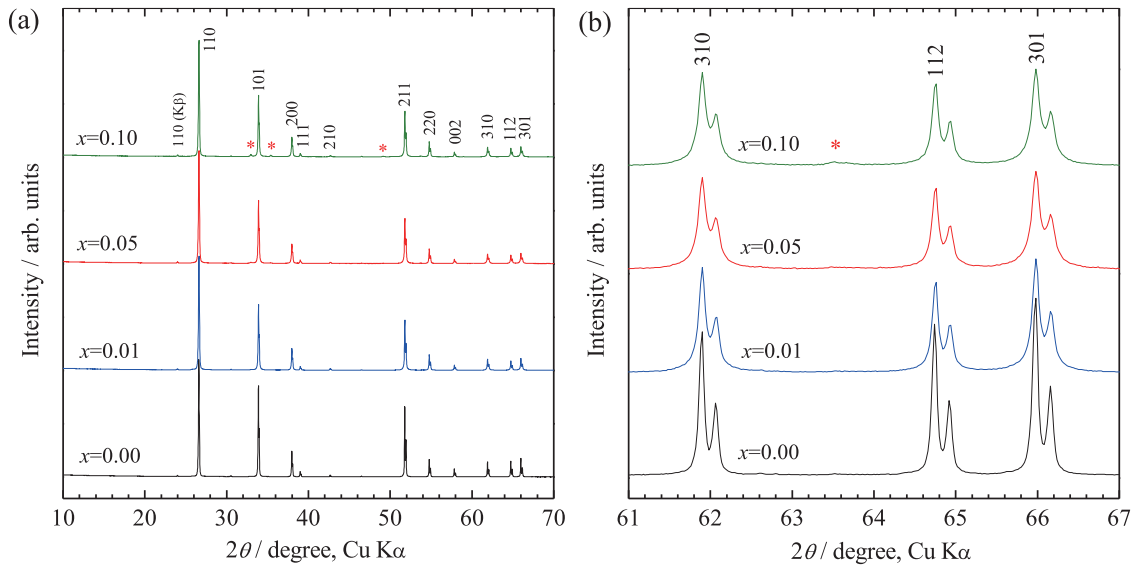


Fig. 2 (a) XRD patterns for Fe_2O_3 -added SnO_2 samples with atomic ratios $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.00, 0.01, 0.05,$ and 0.10 , fired at 1673 K for 1 h in flowing air. Asterisks denote diffraction peaks of $\text{Fe}_{2-y}\text{Sn}_y\text{O}_3$ [21]. **(b)** Magnification of the XRD patterns in the 2θ range $61\text{--}67^\circ$. The indices $310, 112,$ and 301 denote diffraction peaks from the tetragonal rutile-type structure.

Figure 3(a) shows the temperature dependence of the electrical conductivity σ in the temperature range $773\text{--}1073 \text{ K}$ for the Fe-doped SnO_2 ceramics with $x = 0.01, 0.05,$ and 0.10 . The σ values increase monotonously as the temperature increases for all the ceramics; the values also increase with increasing Fe content. Figure 3(b) shows plots of $\ln \sigma$ as a function of T^{-1} . Good linear relations of $\ln \sigma$ versus T^{-1} are observed for all the ceramics, indicating that the electrical conductivity exhibits Arrhenius-type thermally activated behavior expressed by $\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E/kT)$, where σ_0 is the constant, ΔE is the activation energy of electrical conductivity, and k is the Boltzmann constant. The activation energy of the electrical conductivity is estimated to be $0.91, 0.72,$ and 0.70 eV for $x = 0.01, 0.05,$ and 0.10 , respectively, and decreases gradually with increasing Fe content.

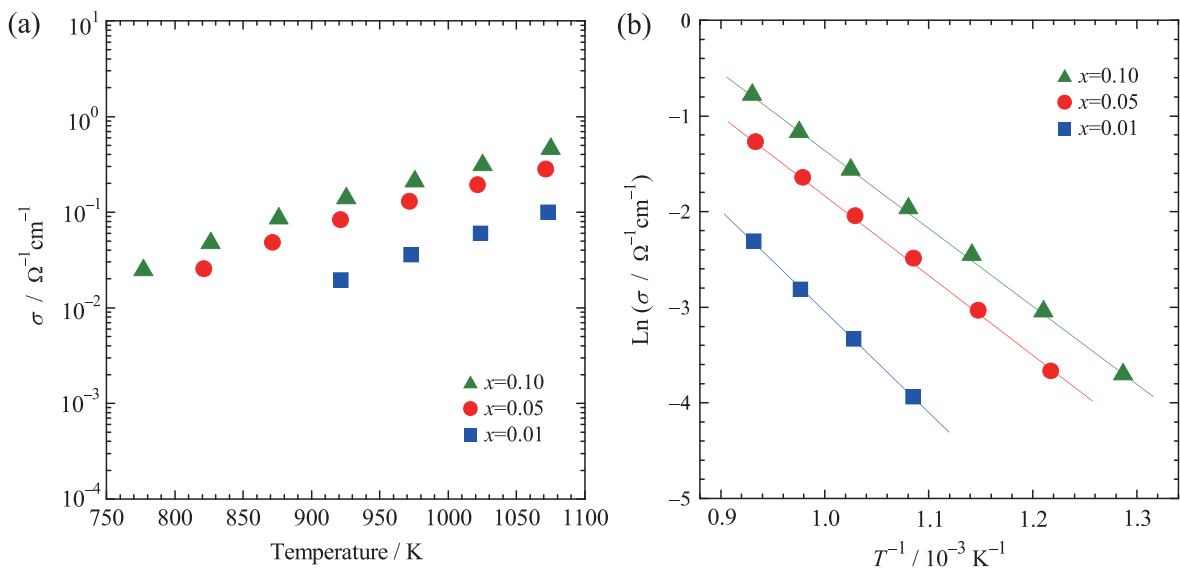


Fig. 3 (a) Temperature dependence of the electrical conductivity σ for Fe-doped SnO_2 ceramics with nominal atomic ratios $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.01, 0.05,$ and 0.10 . **(b)** The reciprocal temperature dependence of $\ln \sigma$ for Fe-doped SnO_2 ceramics with nominal atomic ratios $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.01, 0.05,$ and 0.10 .

Figure 4 shows the temperature dependence of the Seebeck coefficient S in the temperature range 773 – 1073 K for the Fe-doped SnO₂ ceramics with $x = 0.01, 0.05,$ and 0.10 . The S values range from -730 to $-410 \mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$, and all the values are negative, indicating that the ceramics are n -type conductors because of electron carriers. Notably, the absolute values of S are smaller for the ceramics with larger x , indicating that the ceramics with greater Fe contents have more electron carriers.

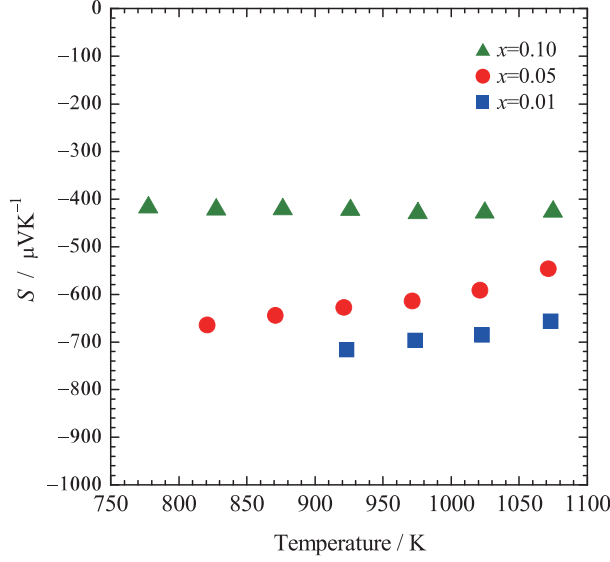


Fig. 4 Temperature dependence of the Seebeck coefficient S for Fe-doped SnO₂ ceramics with nominal atomic ratios $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.01, 0.05,$ and 0.10 .

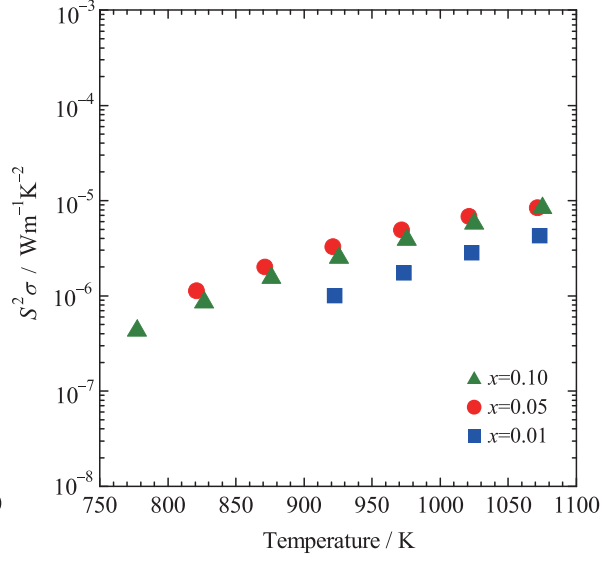
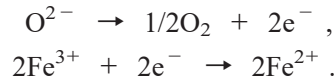


Fig. 5 Temperature dependence of the thermoelectric power factor $S^2\sigma$ for Fe-doped SnO₂ ceramics with nominal atomic ratios $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.01, 0.05,$ and 0.10 .

The electrical conduction behavior of the Fe-doped SnO₂ ceramics is discussed in this paragraph. It was described in a previous paper [18] that the Fe ions in Fe-doped SnO₂ ceramics are doped as Fe³⁺ at the Sn⁴⁺ sites of the rutile-type structure and oxygen vacancies are formed in the structure because of charge compensation as a result of the firing. Therefore, the chemical formula of the Fe-doped SnO₂ can be written as Sn_{1-x}Fe_xO_{2-x/2}, where x is the atomic ratio of the Fe³⁺ ions doped for the Sn⁴⁺ sites in the structure. Because of this charge compensation, the Fe-doped SnO₂ phase does not have any electron carriers. In fact, the Fe-doped SnO₂ ceramics are electrical insulators at room temperature. However, It is considered that more oxygen vacancies are generated at high temperatures, accompanied by the reduction of Fe³⁺ to Fe²⁺ according to the following reactions:



Thus, Fe³⁺ and Fe²⁺ exist in a mixed valence state in the Fe-doped SnO₂ phase at high temperatures. Because Fe²⁺ has one more electron than Fe³⁺, this extra electron of the Fe²⁺ can migrate to the nearest Fe³⁺, leaving Fe³⁺ at the former site. This electron transfer process is hopping conduction. Therefore, a possible reason for the n -type electrical conduction observed at high temperatures for the present Fe-doped SnO₂ ceramics is the hopping conduction of electrons from Fe²⁺ to Fe³⁺. It is also considered that more Fe²⁺ ions – that is, more hopping electron carriers – are formed with increasing Fe content in the Fe-doped ceramics. The decrease in the activation energy ΔE of the electrical conductivity with increasing Fe content might also reflect a decrease in the average distance between Fe²⁺ and Fe³⁺ in the rutile-type structure.

Figure 5 shows the temperature dependence of the thermoelectric power factor $S^2\sigma$ in the temperature range 773 – 1073 K for the Fe-doped SnO₂ ceramics with $x = 0.01, 0.05, \text{ and } 0.10$. The $S^2\sigma$ values increase with increasing temperature for all the ceramics. The $S^2\sigma$ values are highest for the ceramic with $x = 0.05$ and the highest value is $8.4 \times 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}$ at 1073 K. This value is low compared with that reported for the Sn_{0.985}Cu_{0.005}Sb_{0.01}O₂ ceramic ($4.8 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}$ at 1073 K) [17], where the electron carriers generated from Sb move through the conduction band. The lower $S^2\sigma$ values for the present Fe-doped SnO₂ ceramics are attributed to lower σ values, which are likely due to fewer electron carriers and lower electron mobilities of the hopping conduction. Therefore, the electrical conductivity σ needs to be substantially improved to achieve a significant improvement in the power factor.

4. Conclusions

The electrical conductivity σ and Seebeck coefficient S were measured in the temperature range 773 – 1073 K for Fe-doped SnO₂ ceramics with nominal atomic ratios of $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.01, 0.05, \text{ and } 0.10$. The Fe-doped SnO₂ ceramics are n -type semiconductors at high temperatures, and the number of electron carriers increases as the Fe content increases from $x = 0.01$ to $x = 0.10$. The n -type semiconducting behavior is attributable to the hopping of electrons from Fe²⁺ to Fe³⁺ at the octahedral sites of the rutile-type structure, where the Fe²⁺ ions are partially generated by reduction of Fe³⁺ ions at high temperatures. The $S^2\sigma$ values are highest for the ceramic with $x = 0.05$, and the maximum value is $8.4 \times 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}$ at 1073 K.

Acknowledgments

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

- [1] M. Ohtaki, T. Tsubota, K. Eguchi, H. Arai, High-temperature thermoelectric properties of (Zn_{1-x}Al_x)O, J. Appl. Phys. 79 (1996) 1816 – 1818.
- [2] H. Ohta, W.-S. Seo, K. Koumoto, Thermoelectric properties of homologous compounds in the ZnO-In₂O₃ system, J. Am. Ceram. Soc. 79 (1996) 2193 – 2196.
- [3] I. Terasaki, Y. Sasago, K. Uchinokura, Large thermoelectric power in NaCo₂O₄ single crystals, Phys. Rev. B 56 (1997) R12685 – R12687.
- [4] R. Funahashi, I. Matsubara, S. Sodeoka, Thermoelectric properties of Bi₂Sr₂Co₂O_x polycrystalline materials, Appl. Phys. Lett. 76 (2000) 2385 – 2387.
- [5] S. Li, R. Funahashi, I. Matsubara, K. Ueno, S. Sodeoka, H. Yamada, Synthesis and thermoelectric properties of the new oxide materials Ca_{3-x}Bi_xCo₄O_{9+δ} (0.0 < x < 0.75), Chem. Mater. 12 (2000) 2424 – 2427.
- [6] S. Ohta, T. Nomura, H. Ohta, K. Koumoto, High-temperature carrier transport and thermoelectric properties of heavily La- or Nb-doped SrTiO₃ single crystals, J. Appl. Phys. 97 (2005) 034106.

- [7] S. Ohta, H. Ohta, K. Koumoto, Grain size dependence of thermoelectric performance of Nb-doped SrTiO₃ polycrystals, *J. Ceram. Soc. Jpn.* 114 (2006) 102 – 105.
- [8] T. Sugahara, M. Ohtaki, T. Souma, Thermoelectric properties of double-perovskite oxide Sr_{2-x}M_xFeMoO₆ (M = Ba, La), *J. Ceram. Soc. Jpn.* 116 (2008) 1278 – 1282.
- [9] N. Wang, H. He, Y. Ba, C. Wan, K. Koumoto, Thermoelectric properties of Nb-doped SrTiO₃ ceramics enhanced by potassium titanate nanowires addition, *J. Ceram. Soc. Jpn.* 118 (2010) 1098 – 1101.
- [10] Y. Kutomi, T. Nobusawa, A study on the thermoelectrical properties of the tin oxide, *Technol. Rep. Kansai Univ.* 18 (1977) 19 – 23.
- [11] T. Tsubota, T. Ohno, N. Shiraishi, Y. Miyazaki, Thermoelectric properties of Sn_{1-x-y}Ti_ySb_xO₂ ceramics, *J. Alloys Compd.* 463 (2008) 288 – 293.
- [12] S. Yanagiya, N. V. Nong, J. Xu, M. Sonne, N. Pryds, Thermoelectric properties of SnO₂ ceramics doped with Sb and Zn, *J. Electr. Mater.* 40 (2011) 674 – 677.
- [13] S. Yanagiya, N. V. Nong, M. Sonne, N. Pryds, Thermoelectric properties of SnO₂-based ceramics doped with Nd, Hf or Bi, *AIP Conf. Proc.* 1449 (2012) 327 – 330.
- [14] S. Yanagiya, S. Furuyama, I. Uriya, M. Takeda, Thermoelectric properties of SnO₂ ceramics codoped with Sb and Zn prepared by reactive spark plasma synthesis followed by thermal treatment, *Sensors Mater.* 27 (2015) 917 – 924.
- [15] T. T. X. Vo, T. N. H. Le, Q. N. Pham, C. Byl, D. Dragoe, M.-G. Barthés-Labrousse, D. Bérardan, N. Dragoe, Preparation and study of the thermoelectric properties of nanocrystalline Sn_{1-x}Ta_xO₂ (0 ≤ x ≤ 0.04), *Phys. Status Solidi A* 212 (2015) 2776 – 2784.
- [16] K. Rubenis, S. Populoh, P. Thiel, S. Yoon, U. Müller, J. Locs, Thermoelectric properties of dense Sb-doped SnO₂ ceramics, *J. Alloys Compd.* 692 (2017) 515 – 521.
- [17] T. Tsubota, S. Kobayashi, N. Murakami, T. Ohno, Improvement of thermoelectric performance for Sb-doped SnO₂ ceramics material by addition of Cu as sintering additive, *J. Electr. Mater.* 43 (2014) 3567 – 3573.
- [18] M. Yasukawa, N. Matsuoka, Preparation of dense SnO₂-based ceramics by Fe₂O₃ addition, *Bull. Natl. Inst. Tech. Kochi College* 68 (2023) 45 – 52.
- [19] W. H. Baur, A. A. Khan, Rutile-type compounds. IV. SiO₂, GeO₂ and a comparison with other rutile-type structures, *Acta Cryst. B* 27 (1971) 2133 – 2139.
- [20] N. Cusack, P. Kendall, The absolute scale of thermoelectric power at high temperature, *Proc. Phys. Soc.* 72 (1958) 898 – 901.
- [21] F. J. Berry, C. Greaves, J. G. McManus, M. Mortimer, G. Oates, The structural characterization of tin- and titanium-doped α-Fe₂O₃ prepared by hydrothermal synthesis, *J. Solid State Chem.* 130 (1997) 272 – 276.

受理日：2023年11月7日

高知工業高等専門学校校外発表研究論文（抄録）

Measurement of Ultrafine Bubbles with Impurities Using Sonoluminescence Behavior

Kaito Morishita, Yusuke Nishiuchi, Hayato Okumura, Shigenori Akamatsu, Takashi Hata
11th International Conference on Multiphase Flow (ICMF 2023), 2023. 4.2-7

ウルトラファインバブル水中の25～40MHz帯における超音波減衰特性について

芦内拓也, 土居礼奈, 秦 隆志, 赤松重則
日本混相流学会 混相流シンポジウム2023, 2023. 8.24-26

ソノルミネッセンス挙動を指標としたウルトラファインバブル計測に関する研究

森下海都, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
日本混相流学会 混相流シンポジウム2023, 2023. 8.24-26

ウルトラファインバブル水のソノルミネッセンス挙動に与える超音波周波数の影響

寺村優奈, 森下海都, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2023年度 第32回ソノケミストリー討論会, 2023.12.6-7

観測された強震動に対する免震建物の免震層変位応答量に関する研究ー履歴ダンパーに付加する粘性ダンパーの減衰量の検討ー

岡本尚大, 池田雄一, 北農幸生, 稲田祐二
2023年度第23回四国支部研究発表会, 2023. 5

2023年2月トルコ南部の地震に対する免震建物の免震層最大変位応答量

岡本尚大, 池田雄一
2023年度日本建築学会大会（近畿）学術講演会, 2023. 9

国内外において観測された強震動に対する基礎免震建物及び中間層免震建物の免震層最大変位応答量に関する研究

岡本尚大, 池田雄一
第16回日本地震工学シンポジウム, 日本地震工学会, 2023.11

免震建物に設置してあるけがき式変位計の時間特性を補充する加速度センサーマイコンボードの開発と四国に設計・建設された免震建物への実装

堅田望夢, 池田雄一
令和5年度自然災害フォーラム論文集&21世紀の南海地震と防災（第18巻）, 2023.12

2023年2月トルコ・シリア地震において観測された強震動に対する免震建物の地震応答性状

池田雄一
令和5年度自然災害フォーラム論文集&21世紀の南海地震と防災（第18巻）, 2023.12

寮当直に関するシフト割当問題の数理モデル化とタブー探索法による解法

中原雄基, 浦山康洋
情報処理学会第85回全国大会講演論文集1, pp.405-406, 2023. 3

ライントレスカーとBLE通信を活用した疑似的な路車間通信システムの開発と実証実験

岡村涼太郎, 浦山康洋

情報処理学会第85回全国大会講演論文集 3, pp.221-222, 2023. 3

機械学習によるクラスタリングを活用した教授の在室を遠隔確認するWebシステムの開発

野町竜, 浦山康洋

情報処理学会第85回全国大会講演論文集 3, pp.387-388, 2023. 3

AR技術を活用したネットワーク通信可視化システムの開発と学習用教材への応用

栄枝夏海, 山脇爽楽, 浦山康洋

情報処理学会第85回全国大会講演論文集 4, pp.433-434, 2023. 3

ガラス礫を用いた盛土の液状化対策に関する研究

富田彩花, 岡林宏二郎, 近藤知輝, 中田一余

土木学会四国支部第29回技術研究発表会講演概要集, jsce7-052-2023. 5.

ガラス造粒砂の液状化強度に関する研究

岡田雄吾, 岡林宏二郎, 松本晃輝

土木学会四国支部第29回技術研究発表会講演概要集, jsce7-074-2023. 5

ガラス造粒砂を用いた宅地の液状化対策工法に関する遠心力模型実験

尾川徹馬, 岡林宏二郎, 近藤知輝, 大寺飛輝

土木学会四国支部第29回技術研究発表会講演概要集, jsce7-077-2023. 5

透水性を考慮した土嚢を用いた道路盛土の液状化対策に関する研究

中田一余, 岡林宏二郎, 近藤知輝, 中安智洋 (長大)

令和5年度地盤工学会四国支部技術研究発表会No.21, 2023.11

ガラス造粒砂を用いた液状化強度試験および有効応力解析による液状化対策

松本晃輝, 岡林宏二郎, 向谷光彦, 岡田雄吾

令和5年度地盤工学会四国支部技術研究発表会No.22, 2023.11

ガラス造粒砂による宅地の液状化対策工法の遠心力模型実験

大寺飛輝, 岡林宏二郎, 梶田陽介 (千代田コンサルタント)

令和5年度地盤工学会四国支部技術研究発表会No.23, 2023.11

ガラス造粒砂の液状化強度に関する研究

岡田雄吾, 岡林宏二郎, 松本晃輝

令和5年度地盤工学会四国支部技術研究発表会No.33, 2023.11

透水性を考慮した土嚢を用いた道路盛土の液状化対策に関する研究

近藤知輝, 岡林宏二郎, 富田彩華

第11回遠心シンポジウム：東京都市大学 世田谷キャンパス, 2023.12

モルタル中へのけい酸塩系表面含浸工の浸透特性に関する一考察

松田匠生, 近藤拓也, 横井克則

令和5年度日本材料学会四国支部第18回学術講演会講演概要集, pp.11-12, 2023.4

バイオマス燃焼灰を用いたセメントレス材料の圧縮強度

弘瀬密樹, 近藤拓也, 横井克則

2023年度土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, jsce7-046-2023, 2023. 5

廃棄生姜を添加したセメントペーストの圧縮強度特性

佐藤真帆, 近藤拓也, 横井克則, 三本竜彦

2023年度土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, jsce7-045-2023, 2023. 5

高炉スラグモルタルへのけい酸塩系表面含浸材の使用量がひび割れに与える影響

濱田義大, 近藤拓也, 辛 軍青, 横井克則

2023年度土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, jsce7-031-2023, 2023. 5

バイオマス燃焼灰を用いたセメントレス材料に関する基礎的検討

弘瀬密樹, 近藤拓也, 横井克則

コンクリート工学年次論文集, 45 (1), pp.1102-1107, 2023. 7

廃棄生姜を添加したグラウト材の圧縮強度および耐久性

佐藤真帆, 近藤拓也, 横井克則, 三本竜彦

コンクリート工学年次論文集, 45 (1), pp.1138-1143, 2023. 7

ビッカース硬さを指標としたけい酸塩系表面含浸材の改質効果に関する定量的評価

近藤拓也, 黒岩大地, 宮里心一, 島村佳汰, 高橋由菜

材料, 72 (7), pp.507-513, 2023. 7

水掛かりを考慮した中性化の評価に関する指針改訂～コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針2022の発刊に添えて～

宮里心一, 近藤拓也, 今本啓一, 鎌田敏郎

コンクリート工学, 61 (9), pp.842-843, 2023. 9

高炉モルタルへのけい酸塩系表面含浸材の施工量とひび割れ発生抵抗性の関係

濱田義大, 近藤拓也, 辛 軍青, 宮島 朗

土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, Vol.78, V-317, 2023. 9

中性化したモルタルへのけい酸塩系表面含浸工の改質効果に与えるカルシウム補助溶液の影響

吉田 皓, 島村佳汰, 近藤拓也, 横井克則, 黒岩大地

土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, Vol.78, V-319, 2023. 9

木質バイオマス燃焼灰を用いたセメントレス材料の圧縮強度特性

弘瀬密樹, 近藤拓也, 横井克則
土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, Vol.78, V-325, 2023. 9

廃棄生姜粉末を添加したセメントペーストの中酸化特性

佐藤真帆, 近藤拓也, 横井克則, 三本竜彦
土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, Vol.78, V-585, 2023. 9

中酸化したモルタルへのけい酸塩系表面含浸工の改質効果に与えるカルシウム補助溶液の影響

吉田皓, 島村佳汰, 近藤拓也, 横井克則, 黒岩大地
コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.23, pp.383-388, 2023.10

廃棄生姜を添加したセメントペーストに対する消泡剤の適用

佐藤真帆, 近藤拓也, 三本竜彦
第32回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.385-388, 2023.10

分級した木質バイオマス燃焼灰を用いたセメントレス材料の基礎性状

弘瀬密樹, 近藤拓也, 横井克則
第32回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.405-410, 2023.10

けい酸塩系表面含浸材の使用量が高炉モルタルのひび割れに与える影響

濱田義大, 近藤拓也, 辛 軍青, 宮島 朗
第32回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.419-424, 2023.10

Investigation of fundamental properties of geopolymers using wood ash

Mitsuki Hirose, and Takuya Kondo
The 11th international conference on the environmental and implications
of construction with alternative materials, 2023.12

Applicability of cement paste mixed with waste ginger as PC grout

Maho Sato, and Takuya Kondo
The 11th international conference on the environmental and implications
of construction with alternative materials, 2023.12

Prediction of Reflection Characteristics for Gas Molecules on Au Surfaces

Ryusei Ono, Hideki Takeuchi
The 1st KOSEN International Research Symposium (KRIS2023), No.164, 2023. 3. 2

金表面での気体分子の散乱挙動予測

武内秀樹, 小野龍生
日本機械学会2023年度年次大会, No.23-1, J051-02, 2023. 9. 6

Circulation and Separation of Binary Solids in Connected Fluidized Beds,

Yusumi Nagahashi, Hideki Takeuchi, John R. Grace, Yutaka Asako
Powder Technology 428, 118874-118874, 2023.10

Heat Transfer and Flow Characteristics in Internally Circulating Fluidized Bed Lab-Scale and Pilot Scale Facilities

Hideki Takeuchi, Yusumi Nagahashi, Takahiro Oishi, Yutaka Asako, Tetsuo Takeuchi,
Shungo Hashioka, Hirokazu Kajiwara, Mikiya Watanabe
2023 AIChE Annual Meeting, 303m, 2023.11. 8

JASMINEのデータ解析

山田良透, JASMINE E2E チーム (立川崇之)
日本天文学会2023年春季年会, 2023. 3, 立教大学

酸素プラズマを用いたDLC膜の除膜法の検討

三浦竹次朗, 谷本 壮, 臼木貴羅, 税木善則, 針谷 達, 坂東隆宏, 滝川浩史
令和5年度 電気・電子・情報関係学会 四国支部連合大会, 2-14, p.75, 2023. 9.23

部分PAM制御を適用した2台のインバータ間連携運転に関する一検討

山崎莉槻, 中田祐樹, 吉田正伸
令和4年度電気学会中国支部 第15回高専研究発表会 講演予稿集, pp.11-12, 2023. 3. 3

昇圧機能を持つ電流形インバータのスイッチ切替オーバーラップ時間に関する一検討

大畑凱斗, 中田祐樹, 吉田正伸
令和4年度電気学会中国支部 第15回高専研究発表会 講演予稿集, pp.13-14, 2023. 3. 3

2台の部分PAM制御インバータ間連携運転による出力波形改善に関する一検討

山崎莉槻, 中田祐樹, 吉田正伸
令和5年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会 講演予稿集, 5-3, p90, 2023. 9.23

昇圧機能を持たせたインバータのスイッチングパターン簡略化に関する一検討

大畑凱斗, 中田祐樹, 吉田正伸
令和5年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会 講演予稿集, 5-4, p91, 2023. 9.23

DMAによるナノサイズ微細水の計測

長門研吉, 石田舜也, 森 隆行, 加藤寛人, 平野明良, 田端友紀, 井上慎介
第11回イオン移動度研究会, 2023. 4

DMAによるナノサイズ微細水の粒径計測

石田舜也, 長門研吉, 森 隆行, 加藤寛人, 平野明良, 田端友紀, 井上慎介
第40回エアロゾル科学・技術研究討論会講演要旨集, 69-70, 2023. 8

大気圧ヘリウムプラズマジェットのイオン組成分析

吉本倅雪, 長門研吉, 栗田弘史, 高島和則
第84回応用物理学会秋季学術講演会, 22p-P02-1, 2023. 9

Coprecipitation synthesis of $\text{Ca}_{14}\text{Al}_{10}\text{Zn}_6\text{O}_{35}:\text{Mn}^{4+}$ deep-red phosphor and silica-modified waterproofing ability

A.Nakagawa, H.Nakabayashi, Y.Nishiwaki, S.Ogo, T.Ueda, T.Hasegawa
Journal of the American Ceramic Society, Vol.106, Issue2, pp.1149-1158 (2023)

コウルリッジ「老水夫行」改訂における超自然の現象や存在

野中美賀子
『言葉を紡ぐ』, 鶴見書房音羽書店, p.47-67, 2023.1.31

コトル、コウルリッジ、ワーズワスによる *Lyrical Ballads* 出版戦略

野中美賀子
イギリスロマン派研究, No.47, pp.15-32, 2023.3.31

Lewis Carroll's *Alice's Adventures in Wonderland* における詩2編と優れた挿絵の効果

野中美賀子
比較文化研究, No.153, pp.91-103, 2023.10.31

Jane Eyre の匿名の考察

野中美賀子
日本ブロンテ協会, *Brontë Newsletter of Japan*, No.107, p.2, 2023.11.1

Study on O/W Emulsion with Ultrafine Bubbles

Mizuki Kumon, Yusuke Nishiuchi, Takashi Hata, Kaori Tada
11th International Conference on Multiphase Flow (ICMF 2023), 2023.4.2-7

食品分野で広がるファインバブル技術

秦 隆志
FOOMA JAPAN 2023 国際食品工業展, 2023.6.6-9

食品分野で広がるファインバブル技術 (FOOMA JAPAN 2023 関連記事)

秦 隆志
製パン工業, 2023.9.1

流水洗浄におけるファインバブルの効果

小船弘睦, 多田佳織, 西内悠祐, 天久海希, 平江真輝, 秦 隆志
日本混相流学会 混相流シンポジウム2023, 2023.8.24-26

エマルションの分散安定性および酸化抑制に与えるウルトラファインバブルの影響

公文瑞樹, 西内悠祐, 秦 隆志, 多田佳織
日本混相流学会 混相流シンポジウム2023, 2023.8.24-26

化粧品分野におけるファインバブルの利用

秦 隆志
化粧品開発展, 2023.9.28

流水による油分除去に与えるファインバブルの効果

小船弘睦, 乾 晴人, 西内悠祐, 多田佳織, 天久海希, 平江真輝, 秦 隆志
2023年日本化学会中国四国支部大会 山口大会, 2023.11.11-12

ウルトラファインバブルが水耕栽培植物の成長に与える影響

松浦歩夢, 多田佳織, 秦 隆志, 西内悠祐, 高橋一行, 大内 努, 澤田暢介
2023年日本化学会中国四国支部大会 山口大会, 2023.11.11-12

エマルションの酸化に与えるファインバブルの影響

愛宕大弥, 森 海翔, 公文瑞樹, 西内悠祐, 秦 隆志, 多田佳織
2023年日本化学会中国四国支部大会 山口大会, 2023.11.11-12

ファインバブルの資源・環境・食品分野への活用

秦 隆志
Foods & food ingredients journal, 228 (1), p.47-53, 2023年

ファインバブル（微細気泡）を用いたアグリ技術

秦 隆志
JATAFFジャーナル, 11 (5), p.25-30, 2023年

固着塩および油除去に与えるファインバブルの効果

秦 隆志, 西内悠祐
ながれ (日本流体力学会), Vol.42, p.200-205, 2023年

キックスタート動作の3次元動作分析～上肢動作が離台時の身体に及ぼす影響～

兵頭洋樹, 和田匡史
電気学会論文誌 (C部門), 143 (1), P.32-P.36, 2023. 1

競泳キックスタートにおけるバックプレートの位置の違いが5m/10m通過時間に与える影響

梅本雅之, 藤戸靖則, 古田なつみ, 兵頭洋樹, 和田匡史, 船渡和男
国土館大学体育研究所報, Vol.41, P.37-P.42, 2023. 3

Relationship between Swimming Velocity and Trunk Twist Motion in Short-Distance Crawl Swimming

Hiroki Hyodo, Daiki Koga, Yasuo Sengoku, Tadashi Wada
Biomechanics, 3 (2), P.193-P.203, 2023. 4

3D motion analysis of kick start motion—Effects of upper limb movements on the body when leaving the platform—

Hiroki Hyodo, Tadashi Wada
Electronics and Communications in Japan · 143 (1), P.32-P37, 2023. 5

The Influence of Strategic Swimming Pool Facility Placement on Swimming Performance

Toshiro Izumi, Hiroki Hyodo, Tsuyoshi Yoshioka, Tadashi Wada
Journal of Physical Education and Sport, 23 (7), P.1742-P1750, 2023. 7

W/Cと骨材が異なるコンクリートにおける医療用X線CTを用いた品質評価方法の検討

岡林 徹, 浦本豪一郎, 新井和乃, 横井克則, 丸山謙信
第29回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, JSCE7-004, 2023. 5

膨張コンクリートのひずみ測定における温度変化の影響

橋村茂雄, 下村昭司, 横井克則, 近藤拓也
第29回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, JSCE7-015, 2023. 5

石炭灰を主原料としたスラリー材の配合と水中不分離性について

松林功真, 横井克則, 野村悠太, 増田盛士
第29回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, JSCE7-026, 2023. 5

膨張材とフライアッシュを併用したコンクリートの諸特性

澤本駿汰, 横井克則, 近藤拓也, 下村昭司, 橋村茂雄, 門田基博
第29回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, JSCE7-027, 2023. 5

石炭灰を主原料としたスラリー材に関する性能について

野村悠太, 増田盛士, 松林功真, 横井克則
土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, III-430, 2023. 9

豎壁幅48m橋台におけるひび割れの予測と抑制対策について

下村昭司, 橋村茂雄, 横井克則, 近藤拓也
土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, V-530, 2023. 9

膨張材の種類や使用量がフライアッシュコンクリートに与える影響

澤本駿汰, 門田基博, 横井克則, 近藤拓也, 下村昭司, 橋村茂雄
土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, V-582, 2023. 9

パイプクーリングにおける省力化のためのICT活用

橋村茂雄, 下村昭司, 横井克則, 近藤拓也
土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, VI-87, 2023.9

コンクリート施工現場での動画記録による品質改善の取組み

林 和彦, 長谷川雄基, 横井克則, 近藤拓也, 温品達也, 吉本裕次, 若宮隆浩
土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, CS11-14, 2023.9

石炭灰を主原料としたスラリー材の実用化に向けた検討

野村悠太, 増田盛士, 横井克則
電気現場, pp.20-25, 2023.12

独立行政法人国立高等専門学校機構
高知工業高等専門学校学術紀要

第 69 号

2024年（令和6年）3月 印刷・発行

編集・発行 独立行政法人国立高等専門学校機構
高知工業高等専門学校
〒783-8508
高知県南国市物部乙200番1
電話 (088) 864-5500 (代表)

BULLETIN
OF
NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, KOCHI COLLEGE
69
CONTENTS

Researches

Phonological Approach to the Challenges International Students Face in Acquiring Specialized Japanese Terminology: An Examination of Compound Noun Accents in Chemistry	Atsuko ONUMA	1
Krieg und menschliches Leben — Ein Weg zum kleinen Frieden —	Masatoshi SASAKI	9
Evaluation of Parallelization of Programs Using Generative AI	Takayuki TATEKAWA	19
The Development of Greek Maritime History Studies in Global History	Maiko MATSUURA	29
Thermoelectric properties of Fe-doped SnO ₂ ceramics	Masahiro YASUKAWA	41
Abstracts of Other Research Reports		49