

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム  
研究者派遣プログラム

成果報告書

提出日：平成 29 年 10 月 13 日

【基本情報】

○申請者

採 択 年 度：平成 27 年度  
部 局 名 等：情報学研究科先端数理科学専攻  
職 名：助教  
氏 名：新納 和樹

研究課題名：非線形固有値解析を用いた周期電磁波動散乱問題の高速解法の開発

○渡航先

国 名：オーストリア  
研究機関名：グラーツ工科大学  
研究室名等：〔研究室名〕数値解析研究室  
〔職名等・氏名〕教授・Olaf Steinbach

渡 航 期 間：平成 28 年 3 月 1 日～平成 29 年 8 月 31 日（548 日）

○渡航期間中の出張

出 張 先：イギリス  
目 的：MAFELAP2016 での情報収集のため  
期 間：平成 28 年 6 月 13 日～平成 28 年 6 月 18 日

出 張 先：アメリカ（プエルトリコ）  
目 的：APS2016 での情報収集のため  
期 間：平成 28 年 6 月 25 日～平成 28 年 7 月 2 日

出 張 先：オーストリア（ゾエラーハウス）  
目 的：Soellerhaus Workshop での情報収集のため  
期 間：平成 28 年 10 月 13 日～平成 28 年 10 月 16 日

出 張 先：オーストリア（リンツ）  
目 的：RICAM Workshop1 での情報収集のため  
期 間：平成 28 年 10 月 16 日～平成 28 年 10 月 22 日

出 張 先：オーストリア（リンツ）  
目 的：RICAM Workshop2 での成果発表及び情報収集のため  
期 間：平成 28 年 11 月 6 日～平成 28 年 11 月 12 日

出 張 先：イタリア  
目 的：AGES2016 での情報収集のため  
期 間：平成 29 年 3 月 25 日～平成 29 年 3 月 31 日

出 張 先：オーストリア（セイント・ランブレヒト）

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム  
研究者派遣プログラム

目的：Institute workshop での情報収集及び成果発表のため  
期間：平成 29 年 5 月 11 日～平成 29 年 5 月 13 日

出張先：アメリカ  
目的：WAVES2017 での情報収集のため  
期間：平成 29 年 5 月 14 日～平成 29 年 5 月 21 日

出張先：ドイツ  
目的：BEM on the Saar での成果発表及び情報収集のため  
期間：平成 29 年 5 月 28 日～平成 29 年 6 月 1 日

- ※ 渡航期間中に一時帰国や学会参加等の目的で短期の出張があった場合、その目的、行き先、期間を報告して下さい。
- ※ 複数回に渡る場合は、適宜追加して下さい。

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム  
研究者派遣プログラム

【成果】

○プロジェクトの成果及び今後の展開

・研究概要

滞在先の研究室に到着後受け入れ研究者と議論を重ねた結果、本研究課題である周波数域の電磁波動解析の研究にとりかかる前に、より基礎的な範囲から研究を始めたほうがよいとのアドバイスをもらったため、時間域の熱方程式に関する研究に取り組んだ。またこの分野で現在盛んに研究されているトピックとして space-time 法の研究を特に力を入れて行った。Space-time 法は時間域の問題に対する数値解法の一つで、時間と空間を別々に扱う従来法と異なり、時間軸を空間に対する追加の軸と見なすことで空間と時間を統一的に扱う数値解法である。以前は計算時間が膨大であるという理由により敬遠されてきた数値解法であるが、近年計算機の性能向上により見直され、並列化や adaptive refinement との親和性や容易に変形問題が扱えることなど様々な利点が明らかになり、盛んに研究されている。本研究では境界要素法における space-time 法の実装的な研究を行い、積分作用素の計算手法を開発した。従来の手法では問題の領域形状が曲線（曲面）を含む場合に、積分作用素が上手く計算できないことを発見し、新しい計算手法を提案した。特に変形問題を容易に解けることが本手法の従来法にない特色である。また Calderon の前処理や ACA, H-matrix と呼ばれる方法の space-time 法への応用に関する研究も行き、space-time 法の高速化に成功した。

・国際共同研究の立上げ・ネットワークの構築

※ 国際共同研究の内容、実施計画、応募予定の外部研究資金、渡航先国で実施した実地調査や文献調査等の内容、参加した学会やその他の学術・交流組織、そこから構築／深化した研究ネットワークの内容等

滞在先であるオーストリアの受け入れ研究者と継続的な共同研究の構築を約束し、最初のプロジェクトとして以下に示す二国間交流事業へ申請を行った。

1. Joint FWF/JSPS research proposal, „Fast space-time BEM for wave equation“, submitted, Sep. 2017.

また 2018 年 2 月には受け入れ研究者が来日し、京都大学で講義を行う予定である。

また滞在期間中、オーストリアの国内会議というものは、私の知る限り行われなかったが、ほとんどの参加者がヨーロッパ内から集まるような、ヨーロッパ内の会議がいくつか行われたため、これに参加しオーストリアを始めとする多くのヨーロッパの研究者と親交を持つことができた。

・国際共著論文の投稿・発表等の状況、国際学会等での発表状況 [予定を含む]

※ 論文の題名・雑誌名・共著者名・投稿・刊行状況、学会名、発表題目等

滞在中、以下の発表を国際会議等で行った。

1. K. Niino, „An eigenvalue analysis for periodic boundary value problems for Helmholtz ‘ equation in 3D with the Sakurai-Sugiura method and the BEM“, Graz, Mar. 2016.

2. K. Niino, „A preconditioning for the electric field integral equation discretized with the Hdiv inner product“, Soellerhaus workshop Hirschegg, Oct. 2016.

3. K. Niino, O. Steinbach, „The boundary element method discretised with the space-time method for the heat equation in 2D“, RICAM Workshop2, Linz, Nov. 2016.

4. K. Niino, O. Steinbach, „Computation of discretised boundary integral operators in the space-time method for the heat equation in 2D“, institute workshop, St. Lambrecht, May 2017.

## 京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

5. K. Niino, O. Steinbach, „Computations of integral operators for the heat equation in D in the space-time BEM “, Graz, Jul. 2017.

また以下の共著論文を現在投稿中及び投稿準備中である。

1. S. Dohr, K. Niino, O. Steinbach, „Preconditioned space-time boundary element methods for the heat equation “, Preprint 2017/6, TU Graz, 2017.

2. 新納和樹、O. Steinbach, „熱方程式に対する space-time 境界要素法とその前処理について “, submitted, JASCOME 2017.

3. S. Dohr, K. Niino, O. Steinbach, „Space-time boundary element methods for the heat equation “, in preparation.

### ・在外研究経験によって習得した能力等

※ 渡航先機関で得た研究の展開方法、研究室の運営方法、教育方針・人材育成方法等

滞在先の研究室では、教員同士や教員と学生でのディスカッションを重視した研究を行っており、研究発表や輪読などの形態を取らず、複数人で長時間のディスカッションを繰り返し行い、研究を深めていくという方法が取られていた。私も滞在先の研究室のやり方に習い、現地の教員や学生と数多くのディスカッションを通して研究を進めていくという経験ができたため、英語を用いた学術的なディスカッションの能力を大きく伸ばすことができたように思う。

また滞在先の研究室では、外部から講師を招いて発表をお願いすることも頻繁に行っており、こちらにおいても発表後のディスカッションの時間を長めに取り、発表の内容について発表者と聞き手の理解を深めていた。私も今後の日本での研究において、このような方法を取り入れていきたい。

滞在先研究室は数学の研究室であったが、多くの企業と共同研究を行っていたことは意外であった。今後、今まで以上に企業や他の研究所との共同研究に取り組む必要性を感じた。

### ・在外研究経験を活かした今後の展開

在外研究を通して、これまで行ってきた研究とは異なる分野に関して学ぶことができた。特にこの滞在中の主な研究である時間域の問題に対する space-time 法はこれまでまったく学ぶ機会の無かった数値解法であったため、自分の専門性を広げることができたように感じる。この数値解法はまだまだ多くの研究すべきことが残っているため、引き続き研究を行っていきたい。

また上で述べたように、今回の滞在を通して数学の研究室特有の研究室運営や研究の進め方を実際に自分が行う形で体験できたのは、非常に貴重な経験であった。今後はこれまで情報学研究科で体得してきた、情報学・工学的な研究の進め方に加え、滞在先で学んだ数学的な研究へのアプローチを組み合わせることで、分野の枠にとらわれない自由な研究を行っていきたいと考える。

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム  
研究者派遣プログラム

英文成果報告書

○申請者情報

部 局 名 : Graduate School of Informatics

職 名 : Assistant Professor

氏 名 : Kazuki Niino

研究課題名 : Development of fast solution methods for periodic electromagnetic scattering problems with non-linear eigenvalue analysis

渡 航 期 間 :

○渡航先情報

国 名 : Austria

研究機関名 : Graz University of Technology

研究室名等 : Institute for Numerical Mathematics

受入研究者名 : Olaf Steinbach

○渡航報告

※ 渡航先の研究環境、研究者との交流、研究発表の状況等、渡航中の滞在経験について英語で2~3ページ程度で記述して下さい。受入研究者と撮影した写真や研究発表で用いた図等について、可能な範囲で別添として提出して下さい。

- Overview of my research during the stay

Thanks to the economical support by the John Mung Program, I stayed in Graz University of Technology in Austria from March 2016 to August 2017 to study computational mathematics. First, just after I arrived at Graz, I had discussion with Professor Steinbach, who is a host professor of my stay, and we decided to start working on time-domain heat equation in 2D instead of periodic electromagnetic scattering problems since these electromagnetic problems are too complicated to begin with. Recently, a numerical method called „space-time method“ has been widely studied as a new promising numerical method for time-domain problems. Many researchers have worked on the space-time method with the finite element method but a combination of the space-time method with the boundary element method was not yet studied well. Hence, during my stay, I mainly worked on the space-time method with the boundary element method for the heat equation. I have especially studied implementations of the space-time method and the boundary element method for the heat equation in 2D. Consequently, I found that the computation of boundary integral operators would fail if a conventional way for computing integral operators is naively applied to the space-time method. Hence, I developed a new implementation to compute the integral operators accurately. Also, I studied reduction of the computational time for the space-time method. This can be achieved with the help of the method called „Caleron’s preconditioning“.

- Interaction with researchers

In the institute I worked in, their researches were proceeded mainly by discussion instead of making presentations or having classess for reading a book. I also proceeded my research in the same way and

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム  
研究者派遣プログラム

had many discussions not only with the host professor but also with other researchers and students in the institute. I was able to have communication with researchers and students in the institute in this way. Also, this was helpful for me to improve my skill for having discussion about academic topics in English.

I usually join many kinds of conferences such as electromagnetics, mechanics, numerical analysis and mathematics. During the stay in Europe, however, I mainly joined mathematical conference and small workshops. Hence I could meet and have a talk with many researchers, in particular, European mathematicians I have never seen before.

- Research publications and applications to projects

We have published and are now preparing to publish the results of our joint work in the following papers:

1. S. Dohr, K. Niino, O. Steinbach, „Preconditioned space-time boundary element methods for the heat equation“, Preprint 2017/6, TU Graz, 2017.
2. K. Niino, O. Steinbach, „The space-time boundary element method for the heat equation and its preconditioning“, submitted, JASCOME 2017.
3. S. Dohr, K. Niino, O. Steinbach, „Space-time boundary element methods for the heat equation“, in preparation.

I have participated in some conferences and workshops and made some presentations as shown in the following list.

1. K. Niino, „An eigenvalue analysis for periodic boundary value problems for Helmholtz ‘ equation in 3D with the Sakurai-Sugiura method and the BEM “, Graz, Mar. 2016.
2. K. Niino, „A preconditioning for the electric field integral equation discretized with the Hdiv inner product “, Soellerhaus workshop Hirscheegg, Oct. 2016.
3. K. Niino, O. Steinbach, „The boundary element method discretised with the space-time method for the heat equation in 2D “, RICAM Workshop2, Linz, Nov. 2016.
4. K. Niino, O. Steinbach, „Computation of discretised boundary integral operators in the space-time method for the heat equation in 2D “, institute workshop, St. Lambrecht, May 2017.
5. K. Niino, O. Steinbach, „Computations of integral operators for the heat equation in D in the space-time BEM “, Graz, Jul. 2017.

Also, I and the host researcher have submitted the following application on a project of international joint work:

1. Joint FWF/JSPS research proposal, „Fast space-time BEM for wave equation “, submitted, Sep. 2017