

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：12101
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2012～2014
 課題番号：24650124
 研究課題名(和文)南アジア古代文字の自動特徴抽出機能と年代推定機能を有する画像データベースの構築

 研究課題名(英文)Development of South Asia ancient letter database with functions of computer identification of letters on inscriptions and their production age

 研究代表者
 小澤 哲(Ozawa, Satoru)

 茨城大学・理工学研究科・特任教授

 研究者番号：20125793

 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：南アジア古代文字の中で最も重要なスリランカのブラフミー文字を自動識別する「データ解析機能を有するデータベースシステム」を開発した。石碑の拓本の形態で蓄積されている膨大なブラフミー文字データをデジタル化し、画像処理を行うことによって、「標準的ブラフミー文字フォント」を作成した。これと未解析の碑文データを照合することにより、データの判読と年代推定を半ば自動的に実行するシステムを開発した。碑文画像データと標準的ブラフミー文字フォントによる記載をセットにしたデータベースを構築し、アジア太平洋諸国に配置した協調的知識共有システム(KISSEL)上で公開した。遺跡に対する自然環境の影響についても研究した。

研究成果の概要(英文)：Sri Lankan Brahmi letters is one of the most important ancient letters in South Asia. They are stored in the form of estampages of inscriptions. With the aide of computer image analysis techniques, the "fonts of standard Brahmi letter" have been produced from original photo data of estampages. By comparing the font image and the inscription data, it is possible to read inscriptions in a semi-automatic way by computer and also possible to guess the production age of the inscription. The Sri Lankan Brahmi letter database has been produced that contains original photo data of inscriptions together with their identified sentences written by using our standard Brahmi letter fonts. The database is open to public in the cooperative knowledge sharing servers systems (KISSEL) which are installed in Asia Pacific countries. In addition to the above works, influence of natural environments on inscriptions is studied and author's idea is presented regarding preservation of ruins.

研究分野：計算機応用

キーワード：歴史情報 パターン認識 データベース 分散協調システム 画像処理 国際研究者交流 国際情報交換 ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

2011年の春にスリランカ政府考古学省の研究員 Dammi Bandara を博士後期課程学生として受け入れ、彼女の博士論文研究の指導を開始した。彼女のグループがスリランカで実施した研究成果のレビューを受けた際に、石碑に刻まれたスリランカ古代文字のひとつであるブラフミー文字(Brahmi script)は、拓本及びその写真集の形態で蓄積されていることを知った。ブラフミー文字は、南アジア古代文字の中で最も重要である。それはサンスクリット語とヒンディー語を表記するデーバナーガリ文字の母胎となり、また約2千年のあいだに、ビルマ文字、クメール(カンボジア)文字、タイ文字、ラオ(ラオス)文字、チベット文字を生み出すなど、極めて重要な古代文字である。スリランカの古代文字の研究は、拓本の制作と保存にそのエネルギーが集中して投入されており、近代的な情報処理手法は導入されていない状態であった。拓本の形態で保存されている膨大なアナログ写真データをデジタル画像化してデータベースをつくれれば、より多くの研究者が容易にデータにアクセスできること、また、さらに重要な点は、その解析に最新のコンピュータ技術が活用できることに気がついた。そして、「データ解析機能を持つデータベースシステムの開発」の着想を得た。

2. 研究の目的

ブラフミー文字のアルファベットは時代とともにその形が変化した。一方、同じ時代の文字であっても、サンプルごとに微妙なバラエティを含んでいる。当該研究では、同一時代の同一文字をコンピュータを使って数多く(50サンプル以上)解析し、それらに共通の特徴を客観的に抽出し、時代ごとの「標準的ブラフミー文字フォント」を決定する。この作業は、過去に手作業的に実施されたが、人間の手作業であるがために、多分に主観的な要素が含まれていた。本研究では、多くの文字サンプルからコンピュータを使って自動的に特徴抽出する手法を開発する。これにより、客観的でより正確な「各時代ごとの標準的ブラフミー文字フォント」を生成する。そして、拓本写真(原データ)と標準的ブラフミー文字フォントでの記述文をセットにしたデータベースを構築する。このシステムを使うと、未解析の碑文上の文字を「各時代の標準的ブラフミー文字フォント」と照合することにより、碑文の判読や年代推定が可能になる。これをコンピュータ上で半自動的に実施する手法を開発し、これをデータベース技術と結合した統合システムを実現する。このシステムをウェブ上で公開し、研究者が自由に利用できるようにする。インターネット上で国際的な情報交換を活発に行い、同時に国際セミナーやシンポジウムを企画し、対面式の国際的研究者交流を実施する。これによって、南アジア各種古代文字の時間的空間

的な展開過程を解明するために、その第一歩とすることが、当該研究の目的である。

3. 研究の方法

スリランカ初期ブラフミー文字で記載された石碑の拓本の写真集から沢山の画像をイメージスキャナーで読み取る。それを画像処理ソフト及び独自の画像処理プログラムを使って、ノイズを排除した一文字デジタル画像データを生成する。Linux ワークステーション上でこれらの画像処理を行い、「標準的ブラフミー文字フォント」を生成する。これを使って未解析の碑文データを自動判読するプログラムを考案する。これらにより、「データ解析機能を持つデータベースシステム」を開発し、別途開発し運用している KISSEL (協調的知識共有システム) 上で公開する。インターネット上での国際的な情報交換と同時に、国際セミナーやシンポジウムなど対面式の国際的研究者交流を活発に行い、国際共同研究によって、当該研究の目的を達成する。

4. 研究成果

石碑の拓本の写真集(アナログデータ)から沢山の文字画像をイメージスキャナーで読み取った。その精度は300ピクセル/インチであった。そして、石碑拓本のデジタル画像(2値データ:白黒データ)を得た。拓本データには、石碑上のキズや石碑表面の微細な凹凸によるノイズが含まれている。目視による判断で、明らかなノイズと判定できるものを画像処理ソフトと使って除去した。文字画像の回転・伸縮後、各文字を同一の大きさ(300ピクセル×300ピクセル)の一文字画像データを得た。微細なノイズを自動判定する画像処理ソフトを開発し、これを使ってノイズを除去した。得られた石碑拓本文字画像の例を図1に示す。

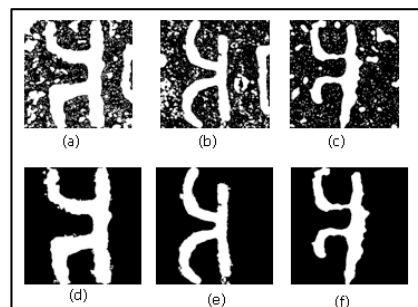


図1 ノイズを除去する前(a)-(c)、後(d)-(f)の石碑拓本文字画像の例

これらの画像はアルファベットの A に対応する同一ブラフミー文字であるが、サンプルごとに文字の形が微妙に異なっている。そこで、沢山の同一文字サンプルから、それらに共通する特徴を抽出し、「標準的ブラフミー文字フォント」を生成した。共通する特徴を抽出するために、「過半数アルゴリズム」を

開発し、フォントを自動生成した。図 2 は、「過半数アルゴリズム」を使って自動生成した標準的ブラフミー文字フォントの作成例を示す。この図より、サンプル数を 30 以上とれば、ノイズを除去しないデータからでも自動的に安定した形のフォントを作成できることがわかる。そこで、サンプル数 30 から得られたパターンをこの文字のフォントとして採用した。









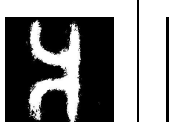

Sample	With noises	Without Noises	Matching %
10			87.133%
20			88.218%
30			90.057%
40			91.286%
50			90.935%

図 2 「標準的ブラフミー文字フォント」の形とサンプル数の関係。ノイズのあるデータから生成したフォントとノイズを除去したデータから生成したフォント及び両者の一致割合を示している。

次に、以上のようにして作成した標準的ブラフミー文字フォントを使って、未解析の石碑文を半自動的に判読する方法を開発した。図 3 に石碑の拓本写真(元データ)例を示す。これから一文字ずつ切り出して水平にならべ、図 4 を得る。この際、石碑表面の小さな凹凸に起因する微細なノイズを自動除去したもの(b)とそうでないもの(a)を準備した。これらの図形と図 2 のフォント図形の水平方向の相関関数を計算すると図 5 及び図 6 を得る。図 5 は図 4(a)との相関関数、図 6 は図 4(b)との相関関数である。これらの曲線が図 2 のフォント図形の自己相関関数とほぼ一致するものを選び出せば、その文字がフォント文字であることが判読できる。これらの作業をすべてのブラフミー文字のアルファベットフォントについて実施すれば、コンピュ

ータが石碑文を自動判読できる。図 3 から図 4 を得る作業は、現在、手作業で行っているが、これも将来的に自動化すれば、全ての判読作業をコンピュータ上で自動的に実施することができる。

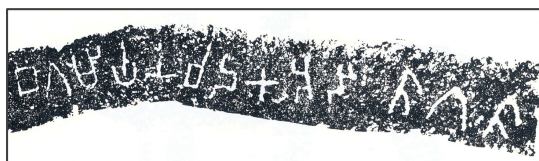


図 3 石碑の拓本写真の例

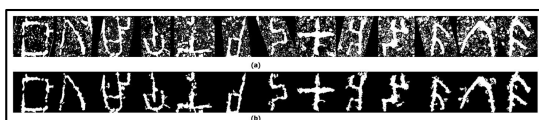


図 4 水平に並べた石碑拓本文字列の例。下段(b)は、石碑表面の凹凸に起因する微細なノイズをコンピュータ画像処理により自動除去したもの、上段(a)はノイズの自動除去を行わないものである。

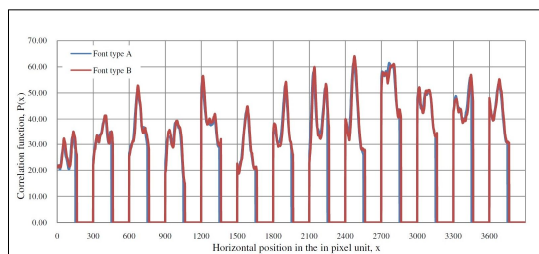


図 5 ノイズある石碑文字列(図 4 上段)とフォント(図 2)の水平方向の相関関数

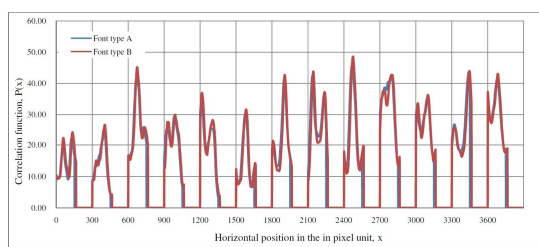


図 6 ノイズを自動除去した石碑文字列(図 4 下段)とフォント(図 2)の水平方向の相関関数

この研究で開発した古代文字石碑文献のコンピュータによる自動判読の技術を広く公開するために、別途開発し運用している KISSEL(協調的知識共有システム)を活用した。KISSEL のこれに関連するページを図 7 に示す。KISSEL をプラットフォームとしてインターネット上で国際的な情報交換ができる体制を整えた。また、国際セミナーやシンポジウムなど、対面式の国際的研究者交流も活発に行った。これらの努力を継続すれば、

南アジア各種古代文字の時間的空間的な展開過程の解明という最終目的は、近い将来に達成できることを確信した。当該研究では、最終的な総合的データベース構築のための第一歩とすることできた。そして、そのための国際研究者交流・国際情報交換の体制の基礎を確立できたことが、当該研究の成果である。当該研究に関連して、遺跡の状態を監視するセンサー技術や遺跡保存のための諸施策に関する研究も開始した。これらの研究成果を大学教育に迅速かつ効果的に活用するために、E-ラーニング手法に関する研究も行った。

Inscription Analyzer

Research on KISSEL project

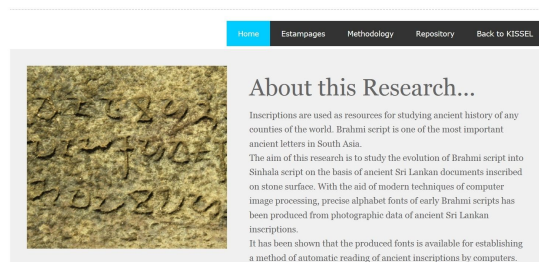


図 7 スリランカ古代石碑文字解析に関する KISSEL (協調的知識共有システム) のページ

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

G. Anne Nisha, Nalin Warnajith, Hiroshi Tsuchida, Atshushi Minato, *Wireless sensor network system for inclination measurement using spirit level*, International Journal of Modern Engineering Research, Vol. 5 Issue. 3 (V3), 16-23, 2015, 査読有

Nalin Warnajith, Nguyen Cao Thang, Satoru Ozawa, Atshushi Minato, *Mobile Radiation Measuring System using Small Linux box and GPS sensor*, International Journal of Modern Engineering Research, Vol. 5 Issue 2, 1-6, 2 015, 査読有

Kushantha Lakesh S.H.P., Dahanayaka D.D.G.L., Anne Nisha G., Nalin Warnajith, Hideyuki Tonooka, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Development of inexpensive multi-parameter sensors based network system for water environment monitoring*, International Journal of Environmental Sciences, Vol 5 No. 2, 341-352, 2014, 査読有

Mo Yang, Nalin Warnajith, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Development of Perpendicular Sensor for Disaster Prevention*, Advanced Materials Research, Vol. 838-841, 2174-2178, 2013, 査読有

Nalin Warnajith, Dammi Bandara, Sarkar Barbaq Quarmal, Masanori Itaba, Atsushi Minato and Satoru Ozawa, *Computer Analysis of Photographic Data of Sri Lankan Early Brahmi Inscriptions*, International Organization of Scientific Research Journal of Engineering, Vol. 3 Issue 1, 44-49, 2013, 査読有

Nalin Warnajith, Sarkar Barbaq Quarmal, Masanori Itaba, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Formation of Knowledge Sharing System for Asia-Pacific Countries by Using Modern Information Techniques*, International Journal of Computational Engineering Research, Vol. 2 Issue 7 203-210, 2012, 査読有

Dammi Bandara, Nalin Warnajith, Atsushi Minato and Satoru Ozawa, *Creation of precise alphabet fonts of early Brahmi script from photographic data of ancient Sri Lankan inscriptions*, Canadian Journal on Artificial Intelligence, Machine Learning and Pattern Recognition, Vol. 3 No 3, 33-39, 2012, 査読有

[学会発表] (計 17 件)

Nalin Warnajith, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *KISSEL operational functionalities and its application usage*, KISSEL Technical Seminar 2015, 2015.3.20, Ibaraki University Ibaraki・Hitachi

Dammi Bandara, Nalin Warnajith, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Image based analysis for Brahmi Scripts in Sri Lanka*, KISSEL Technical Seminar 2015, 2015.3.20, Ibaraki University Ibaraki・Hitachi

Satoru Ozawa, Atsushi Minato, Masanori Itaba, Shigeyuki Murayama and Sarkar Barbaq Quarmal, *Modeling of Personal Thinking and Its Application to Studies of Group Thinking Over the Internet*, IEEE International Conference on

Bioinformatics and Biomedicine, 2014.11.3, Belfast (UK)

Nalin Warnajith, S.H.P.K. Lakesh, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Inexpensive sensor network solution for environment monitoring*, The International Symposium on ICT for Environmental Sustainability, 2014.6.24, University of Kelaniya (Sri Lanka)

Dammi Bandara, Nalin Warnajith, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Novel approach for analyzing Brahmi Scripts*, The International Symposium on ICT for Environmental Sustainability, 2014.6.24, University of Kelaniya (Sri Lanka)

Satoru Ozawa, *Producing High Definition Video for e-Learning*, KISSEL Technical Seminar 2014, 2014.3.19, Ibaraki University Ibaraki•Hitachi

Nalin Warnajith, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Usage of KISSEL as a tool for Environment Studies*, KISSEL Technical Seminar 2014, 2014.3.17, Ibaraki University Ibaraki•Hitachi

S. Ozawa and D.D.G.L. Dahanayaka, *Research Cooperation of Environmental Science by using Knowledge Sharing System* (Invited), Workshop at The University of Science, 2013.10.10, National University of Ho Chi Minh City (Vietnam)

Dammi Bandara, Nalin Warnajith, Nilanthi Bandara, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *New pathway to study early Brahmi letters*, Conference of the International Association for Asian Heritage, 2013.8.15, Colombo (Sri Lanka)

Nalin Warnajith, Dammi Bandara, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Image based database approach to ancient Bharmi script analysis*, VU'2013, 2013.6.19, Warszawa (Poland)

Satoru Ozawa and Nalin Warnajith, *Knowledge Sharing for Research and Education by Modern Web and Database Techniques* (Invited), VU'2013, 2013.6.19, Warszawa (Poland)

Nalin Warnajith, Sakar Barbaq Quarmal, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Formation of a Knowledge Sharing Platform Asia-Pacific Countries*, Seminar on Cooperative research and education in Asian Pacific Countries by means of ICT, 2013.1.13, Noboribetsu Grand Hotel Noboribetsu•Hokkaido

Dammi Bandara, Nalin Warnajith, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Image based approach for reading early Brahmi inscriptions in Sri Lanka*, Seminar on Cooperative research and education in Asian Pacific Countries by means of ICT, 2013.1.13, Noboribetsu Grand Hotel Noboribetsu•Hokkaido

Liu, Tammita Arachchi Suranga Anuruddha, Nalin Warnajith, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, *Development of Portable CO₂ monitoring System*, The 8th International Student Conference at Ibaraki University, 2012.11.11, Ibaraki•Hitachi

Nalin Warnajith, Gamunu Dassanayake, D.D.G.L. Dahanayaka, Hideyuki Tonooka, Atsushi Minato, Satoru Ozawa and Meepagalage P. M. Perera, *Prototype of E-Learning Management System for Secondary School in Sri Lanka*, 11th International conference on Information Technology Based Higher Education and Training, 2012.6.21, Istanbul (Turkey)

Gamunu Dassanayake, Nalin Warnajith, D.D.G.L. Dahanayaka, Hideyuki Tonooka, Atsushi Minato, Satoru Ozawa and Meepagalage P. M. Perera, *The Planning, Implementation and Economics of the Knowledge Integration Server System for E-Learning (KISSEL)*, 11th International conference on Information Technology Based Higher Education and Training, 2012.6.21, Istanbul, (Turkey)

Masahiko Fuse and Satoru Ozawa, *Role of the Internet for Risk Management at School*, 11th International conference on Information Technology Based Higher Education and Training, 2012.6.21, Istanbul (Turkey)

〔その他〕

KISSEL のホームページ
<http://kissel.base.ibaraki.ac.jp/intl/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小澤 哲 (OZAWA SATORU)
茨城大学・理工学研究科・特任教授
研究者番号：20125793

(2) 研究分担者

湊 淳 (MINATO ATUSHI)
茨城大学・理工学研究科・教授
研究者番号：00209826

伊多波 正徳 (ITABA MASANORI)
茨城大学・工学部・講師
研究者番号：50400601

(3) 連携研究者

無し

(4) 研究協力者

Dammi Bandara
スリランカ政府考古学省・研究員
茨城大学・博士後期課程学生

Nilanthi Bandara
スリランカ政府考古学省・研究員

Nalin Warnajith
茨城大学・外国人研究者

D.D.G.L. Dahanayaka
JSPS 外国人特別研究員

Sakar Barbaq Quarmal
バングラディッシュ ULAB 大学・准教授