

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 14 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300058

研究課題名(和文) 知的診療支援システム開発のためのアクティブマイニングに関する研究

研究課題名(英文) Active Mining Process for Development of Intelligent Decision Support System

研究代表者

津本 周作 (TSUMOTO, Shusaku)

島根大学・医学部・教授

研究者番号：10251555

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,700,000円

研究成果の概要(和文)：本課題は、データマイニングを用いた知的診療支援サービスの開発を以下のプロセスによって実現するための基盤技術を研究した：(1)病院情報システム内に蓄積された診療記録・診療行為の履歴から、各診療科に必要な診療支援に関する知識を抽出、(2)マイニング結果に基づいた知的診療支援システムを開発、病院情報システム内に実装。(3)診療記録・診療行為の履歴からシステム実装の評価を定量的に行い、(4)評価に基づいて、追加のデータ収集を行い、支援システムの洗練化・新たな開発を行った。

研究成果の概要(英文)：This paper proposes the following data-mining centered software development process. First, data extracted from hospital information system is used for capturing the peculiarities of the divisions in the university hospital. Then, the mining results were interpreted by medical staff and the solutions were discussed. Based on the discussions, new interfaces were developed, whose performance was evaluated by using the service logs. The process was empirically evaluated in Shimane University Hospital, which shows that the process will give a new framework for quantitative evaluation of software development in hospital information system, which can be viewed as an application of active mining process

研究分野：データマイニング・サービスコンピューティング

キーワード：時系列マイニング クラスタリング 類似度解析 診療支援システム 病院情報システム データマイニング サービスコンピューティング

1. 研究開始当初の背景

診療情報の電子化(通称 医療の IT 化)の進展に伴い、大学病院で 100%、大規模病院ではほぼ 90%が病院情報システムに診療情報を蓄積する時代が到来した。これらの蓄積したデータを用いることで、診断の支援、治療効果の判定、医療事故のリスクを含めて、さまざまな種類の診療支援が可能となり、いまや病院管理の重要なツールになるとうとしている。たとえば、島根大学医学部付属病院(外来:のべ 1000 人/日、病床数 616)では、2006 年 11 月から完全電子化が開始され、5 年以上の診療情報が電子的に閲覧できるようになった。現在稼働しているシステムで調査したところでは、診療報酬に伴う診療行為が 1 日あたり約 8000 件登録され、1 日あたりで約 150MB の文字型データと約 10GB の画像データが蓄積されている。これは 1 年でそれぞれ 40GB、2TB のデータとなる。これらのデータの有効活用は今後の病院情報システムでの大きな課題となっており、インターネットにおけるデータマイニング研究へのアナロジーから次の二つに分類できる:

(1)コンテンツの解析(診療支援): 長期間に蓄積された慢性疾患のデータをマイニングすることで、その全体像(治療例/未治療例を含めて)を把握することが可能となる。慢性疾患の長期予後についての知識を発見することで、より質のよい診療を支援できる。さらには、全体像を横断的に調べることで、医師が直観的に把握していた疾患の概念、および疾患分類について、その概念の再構築も期待できる。

(2)ヒストリ(履歴)の解析(病院管理): 診療行為の電子化によって蓄積されたデータをマイニングすることで、診療プロセスに関するパターンを抽出し、診療資源の配置の最適化に関する知識を抽出できる。ここでのマイニング技術の適用はデータに基づいた病院管理という新たな展開を生む。

研究代表者および研究分担者は、この二つの視点に着目し、前者については、実際に病院情報システムに蓄積された検査データを元にした診療支援 [研究業績:2,3,11,12,15,21,32,33,40]および後者については、病院管理としてプロトタイプ的な研究を重ねてきた。「これまでに受けた研究費とその成果等」にも述べたように、データマイニングの医療応用に関する成果をあげ、特に特定領域「データマイニング」において、病院情報システムから抽出した検査データから慢性肝炎に関する長期時系列データの類型化の研究を行うとともに、基盤研究(B)(平成 17~18 年度)「医療事故防止に向けたインシデントデータのアクティブマイニング」において、病院情報システムから抽出したデータから医療事故に関連する知識の

抽出を行う研究に携わり、基盤研究(B)(平成 19~20 年度)「最適な電子カルテインターフェイス開発のためのアクティブマイニング」では、効率的ユーザーインターフェイス開発のためのデータ収集、解析およびユーザーへのフィードバックの観点から、アクティブマイニングのプロセスを用いた電子診療録記入支援に関する研究を行ってきた。さらに、基盤研究(B)(平成 21~23 年度)「診療プロセス管理のための時系列アクティブマイニングに関する研究」においては、診療プロセスの抽出と言う観点から、スケジュール管理のためのアクティブマイニングプロセスに関する研究を行い、診療行為が疾患共通のもの、患者固有のものに分離でき、それぞれに特有の時系列パターンを有しており、後者が疾患のリスクを評価する上で重要であることがわかった。これまでの研究では 4~6 個の時間的変数に関するマイニング・モデリングが診療支援・病院管理に重要であることが経験的にわかっている。

一方、時系列マイニングによって、医療スタッフの行動が可視化でき、そこからのモデリングによって、動的に支援システムを構築することで、アクティブな支援が可能で、マイニング結果に基づいた知的診療支援システムを設計・実装し、その性能を診療記録のデータから定量的に評価する基盤が構築できる。

例えば、図 1 と図 2 は 2010 年度火曜日における膠原病リウマチ内科・整形外科外来の平均オーダー発行数(注:オーダーとは、医療スタッフの診療行為の指示のことである)を時系列的に表示したものである。前者では、午前 8 時台に血液検査オーダー(線色:赤)にピーク、後者外来では、午後に診療文書(診断書等、線色:緑)のオーダーにピークがあることが特徴的であり、この時間帯の各オーダー全体の 90%以上を占める。注射・診療文書オーダーを支援するプログラムを実装した場合、これらの診療科・時間帯に注目した実装・評価の設計を行うことで、プログラムの定量的評価が容易になると考えられる。例えば、膠原病リウマチ内科の専門医へのインタビューから、本来血液検査オーダーは外来受診時に行うべきであるが、膠原病では評価すべき検査項目が多数複雑であるため、患者を受診中に待たせることのないよう、外来開始直前に指定するようにしているとのことだった。が、実際には、オーダーのし忘れ等が多発し、結果として、整形外科の外来での待ち時間が 16 分(中央値)であるのに対し、この科では待ち時間が 48 分(中央値)もかかっている。およそ、検体検査の結果が約 30 分でまとまることを考えれば、血液検査オーダーに対する診療支援(例:各患者・類似患者で過去使用された臨床指標の統計、検査項目選択パターンの提示)は待ち時間を減らす効果があると期待できる。

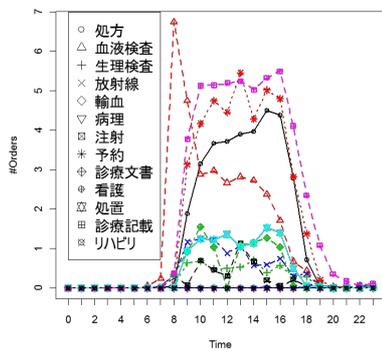


図1 膠原病リウマチ内科時間帯別平均オーダー数 (2010年度, 火曜日)

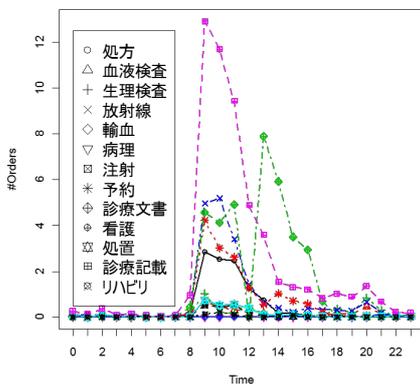


図2 整形外科時間帯別平均オーダー数 (2010年度, 火曜日)

2. 研究の目的

本課題の目的は、病院情報システム内に蓄積された履歴データを最大限利用して、診療科の診療の特性に合った知的診療支援サービスの構築・実装・評価を目標として、このために必要なマイニングの基盤的記述を研究し、マイニング結果に基づいた adaptive な診療支援システムを構築、実践的に病院情報システム上に実装・評価することにある。研究計画・方法でも述べるように、これまでの研究から、外来診療においては、1日あたりのべ約 1000 人の受診があり、診療行為に関する膨大な履歴データが診療行為の実施結果と共に時系列データとして蓄積されている。これらの時系列を扱うことで、医療スタッフの振る舞いをモニタリング、振る舞いを考慮した診療支援ソフトの実装、振る舞いの変化を定量的に検知・評価するための要素技術の構築は必須である。

3. 研究の方法

(1) 本研究課題の実現において、特に重要な技術的課題は以下の4つがあげられる:(a)分散データベースに蓄積された時系列データを

いかに病院情報システムのデータから抽出し、データウェアハウスとして構築するか、(b)時系列データとして得られたデータウェアハウスからどのような構造をもった時系列パターンを生成するか? さらに専門家に理解しやすいパターンを生成できるか? (c)マイニング結果に基づく柔軟なカスタマイズ可能な知的診療支援システムが構築可能か? (d)診療支援システムという介入(システム全体の攪乱因子ともとらえられる)が起こった時、時系列的な変化をどのように定量的に評価するか? という点にある。(b,c)に関しては、時系列変化を有する変数が多数存在した時、どのような変数を選択するか、変量間に一定の構造を仮定しつつ、その規則性を生成することが必要になる。(d)に関しては、時系列変化を有するパターンの変化を検知するための適切な指標を検討する必要がある。さらに、(a)に関しては、(b,c,d)と独立でなく、ある構造的な制約を考慮した構造をうまく抽出できるようなデータを抽出できるプロセスでなければならぬ。

本研究課題では、(a-d)を効率的に研究する枠組みとして特定領域研究「データマイニング」(平成13~16年度)で提唱されたアクティブマイニングプロセス[参考文献:1,2]を採用、研究全体の管理プロセスとして、必要な要素技術の開発およびシステムの実装を行った。

[参考文献 1] S. Tsumoto, T. Yamaguchi, N. Numao, H. Motoda(eds): Active Mining, Second Int'l Workshop AM 2003, Revised Selected Papers. Springer, 2005.

[参考文献 2] 津本周作, 山口高平, 沼尾正行, 元田 浩: 特集「アクティブマイニング」にあたって. 人工知能学会誌 20: 145-148, 2005.

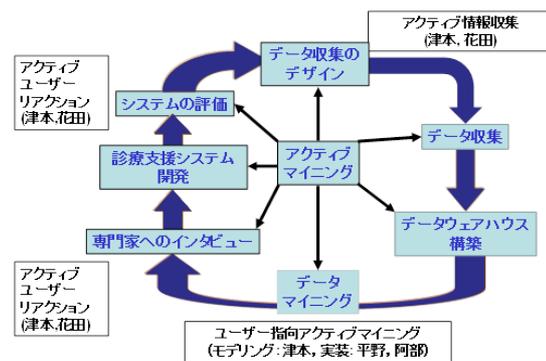


図3 アクティブマイニングプロセスと研究代表/分担者との関係

本申請では、初期の情報収集として、病院情報システムのデータからデータウェアハウスを構築した。次に、ユーザー指向アクティブマイニングプロセスにおいて、データウェアハウスからデータを抽出、種々の時系列マイニング等のマイニング技術をデータマイニングサーバ上で適用し、データからパターン

を取り出し、モデルの構築を行う。アクティブユーザーリアクションでは、これらの結果を専門医にインタビューしつつ解釈し、診療支援システム開発についての知識を獲得、Collaborative Filtering, Personalizationといった技術の適用可能性を考慮しつつ、診療支援の開発を開発用ワークステーションで行う。さらにその評価にどのようなデータを収集すべきかを検討、追加アクセスログ管理サーバにて収集する。ここで1つのサイクルが完了することになるが、ここからデータ収集のデザインの検討を次のサイクルとして、アクティブ情報収集プロセスで検討をはじめ。これ以降でのシステム評価はシステム評価用ワークステーションを追加して行った。

研究代表者/分担者の各役割は、図3に示されるように、アクティブ情報収集は津本と花田、ユーザー指向アクティブマイニングはそのモデリングについては津本、実装については平野（阿部は遂行中に他大学へ転出した）、そしてアクティブユーザーリアクション（診療支援システムの実装と評価）については、津本と花田が担当した。

4. 研究成果

(1) 時系列マイニングおよびオーダー数の統計についての基礎的研究を進めた[4-8]。

(2) オーダー数の統計を病院情報システム（基幹業務系システム）から抽出する仕組みを任意の時間粒度で取るための仕組みを研究・開発した[3]。

(3) オーダ数の時系列分析の生成とそれに対するマイニング手法を適応することで、病院情報システムのデータからパターンを抽出するための枠組みを研究した。オーダー数のカウントする時間的区切りを変更することで、さまざまな解析をおこなった。1時間単位でとったオーダー数の発行に関する時系列のクラスタリングによって、診療科の類型化を行った。さらに、多次元時系列の軌跡マイニングの手法を用いて、診療科の類型化を洗練化するとともに、各診療科のオーダー発行の特徴を分析した[3]。

(4) 1日単位でとった看護オーダーの実行に関する時系列のクラスタリングによって、看護オーダーの類型化を行った。結果として、看護オーダーは疾患の治療に必要なもの、個々の患者の状態によって必要なものに類型化でき、さらに疾患の治療に必要なものは、それぞれの入院日数によって、グループ化が異なることがわかり、このグループ化がクリニカルパスの過程と類似していることがわかった。ここから、看護オーダーの類型化から、看護に関するクリニカルパス抽出の方法を研究・開発した[1]。

(5) 外来オーダー発行数に関する時系列類型化から、挙動の異なる肝臓内科と膠原病内科を選び出し、それぞれのオーダー別の時系列の特徴を分析した。その結果として、膠原病内科では外来開始前に検査オーダーが発行されていることがわかり、これが検査オーダーの発行忘れによるものであることがわかった。特徴分析によって得られたワークフローは図4の通りである[2]。

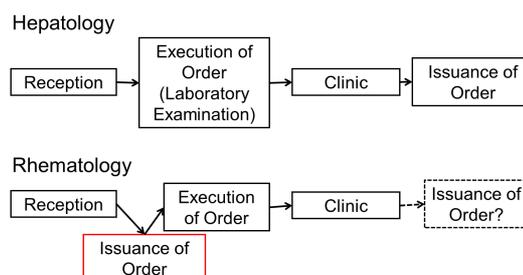


図4 肝臓内科と膠原病内科のワークフロー

さらに、この検査オーダーのし忘れが外来待ち時間等に影響を与えていることが追加の解析からわかった。

(6) 肝臓内科のワークフローが本来の外来診療のワークフローを取っているため、膠原病内科のワークフローを肝臓内科のワークフローに近づけるため、検査オーダーのし忘れを防止する仕組みを病院情報システムに実装した。第1段階として、各患者の診療を終える際、当日検査オーダーを実行している場合、次回の検査オーダーの予約をしていなければ、警告を発する仕組みを組み込んだ。組み込んだ後、オーダー数の時系列分析・待ち時間の解析を行った。結果としては、オーダー発行数の時系列の形状は変化してきたが、また待ち時間についても減少しなかった。そのため、膠原病内科の医師の挙動をインタビューしたところ、警告は無視しているため、効果が薄いことがわかった。

さらに、上記の仕組みに加えて、外来終了時に、外来受診患者について、検査オーダー予約の一覧を確認させるモードを実装し、オーダー数の時系列分析・待ち時間の解析を行った。結果として、オーダー発行数の時系列の形状は正常化し、待ち時間も減少し、その効果が確認できた[2]。

(7) 以上、研究・開発された仕組み、オーダー数の時系列分析・クリニカルパス抽出・待ち時間解析の仕組みは、病院情報システムのコンポーネントとして実装され、実環境で使用されている。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計8件)

1. Haruko Iwata, Shoji Hirano, Shusaku Tsumoto: Maintenance and Discovery of Domain Knowledge for Nursing Care using Data in Hospital Information System. *Fundam. Inform.* 137(2): 237-252 (2015)
<http://dx.doi.org/10.3233/FI-2015-1177>
2. Toshihiko Kawamura, Tomohiro Kimura, Shusaku Tsumoto: Estimation of Service Quality of a Hospital Information System Using a Service Log. *The Review of Socionetwork Strategies* 8(2): 53-68 (2014)
<http://dx.doi.org/10.1007/s12626-014-0044-x>
3. Shusaku Tsumoto, Haruko Iwata, Shoji Hirano, Yuko Tsumoto: Similarity-based behavior and process mining of medical practices. *Future Generation Comp. Syst.* 33: 21-31 (2014)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2013.10.014>
4. Shusaku Tsumoto, Shoji Hirano: Incremental Induction of Medical Diagnostic Rules Based on Incremental Sampling Scheme and SubRule Layers. *Fundam. Inform.* 127(1-4): 209-223 (2013)
<http://dx.doi.org/10.3233/FI-2013-905>
5. Shoji Hirano, Shusaku Tsumoto: Clustering of non-metric proximity data based on bi-links with ϵ -indiscernibility. *J. Intell. Inf. Syst.* 41(1): 61-71 (2013)
<http://dx.doi.org/10.1007/s10844-012-0218-3>
6. Shusaku Tsumoto, Shoji Hirano: Combinatorics of Information Granule in Contingency Table. *Int. J. Intell. Syst.* 28(9): 892-906 (2013)
<http://dx.doi.org/10.1002/int.21610>
7. Hidenao Abe and Shusaku Tsumoto: Detection of research trends from bibliographical data, *IJDMMM* 4, 255-266, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1504/IJDMMM.2012.048107>
8. Shusaku Tsumoto and Shoji Hirano: Combinatorics in Pearson residuals, *IJKESDP*, 4, 72-84, 2012.

<http://dx.doi.org/10.1504/IJDMMM.2012.048107>

[学会発表](計26件)

1. Toshihiko Kawamura, Tomohiro Kimura, Shusaku Tsumoto: Data Mining-Based Service Quality Estimation in Hospital Information System. *IEEE ICDM 2014 Workshop on Data Mining for Service*, 12/14/2014, 深セン (中華人民共和国).
2. Shusaku Tsumoto: Rough Sets and Knowledge Technology in Hospital Information System. *RSKT2014(招待講演)*, 10/24-26/2014, 上海 (中華人民共和国).
3. Shusaku Tsumoto, Shoji Hirano: Healthcare IT: Integration of consumer healthcare data and electronic medical records for chronic disease management. *IEEE GrC 2014*, 10/22-24/2014, 登別グランドホテル (登別).
4. Shusaku Tsumoto, Shoji Hirano: Formal Analysis of Leave-One-Out Methods Based on Decremental Sampling Scheme. *WI/IAT-2014*, 8/11-14/2014, Warsaw (ポーランド共和国).
5. Shusaku Tsumoto, Shoji Hirano: Incremental rule induction based on updates of statistical indices. *IEEE ICCI*CC2014*, 8/18-20/2014, London (連合王国).
6. Shusaku Tsumoto, Shoji Hirano: Towards Data-Oriented Schedule Management in Hospital. *SRII Global Conference 2014*, 4/23-25/2014, San Jose (アメリカ合衆国).
7. Shusaku Tsumoto, Shoji Hirano: Global Perspectives on Healthcare Analytics, *SRII Global Conference 2014*, 4/23-25/2014, San Jose (アメリカ合衆国).
8. Shusaku Tsumoto: Intelligent Hospital Management, *Kansai University DM Lab International Workshop*, 3/11-12/2014, New York (アメリカ合衆国).
9. Shusaku Tsumoto: Mining Clinical Pathway using Dual-Clustering, *IEEE GrC 2013(招待講演)*, 12/13-15/2014, 北京 (中華人民共和国).
10. Shusaku Tsumoto: Incremental Induction of Medical Diagnostic Rules. *IEEE GrC 2013*, 12/13-15/2013, 北京 (中華人民共和国).
11. Haruko Iwata, Shoji Hirano and Shusaku

Tsumoto: Mining Clinical Pathway Based on Clustering and Feature Selection. Brain and Health Informatics, 10/29-31,2013, 前橋メッセ (前橋).

12.Shoji Hirano and Shusaku Tsumoto: Mining Clinical Pathway Candidates from Order-History Based on the Clustering of Order Sequences, IEEE SMC2013, 10/13-16,2013, Manchester (連合王国).

13.Shusaku Tsumoto, Shoji Hirano: Evaluation of Incremental Change of Set-based Indices, JRS2013, 10/11-14/2013, Halifax (カナダ共和国).

14.Shusaku Tsumoto, What is Healthcare IT? SRII Asia Summit 2013 (招待講演), 9/16-18/2013, Bangkok (タイ王国).

15.津本周作:「リスク発見:リスク検知に向けて」第9回 TRIZ シンポジウム(招待講演), 9/11-12/2013, 統計数理研究所 (立川).

16.Haruko Iwata, Shusaku Tsumoto and Shoji Hirano: Clinical Schedule Management Using Similarity-Based Mining Methods. IEEE ICHI2013, 9/9-11/2013, Philadelphia (アメリカ合衆国).

17.Shusaku Tsumoto, Shoji Hirano and Haruko Iwata. Mining nursing care plan from data extracted from hospital information system. IEEE/ACM ASONAM 2013,8/25-29/2013, Niagra Fall (カナダ共和国).

18.Guo-Cheng Lan, Tzung-Pei Hong, Pei-Shan Wu, Shusaku Tsumoto: Mining hierarchical temporal association rules in a publication database. IEEE ICCI*CC2013, 7/16-18/2013, New York (アメリカ合衆国).

19.Kanta Kurozumi, Shun-Teng Lan, Mei-Hui Wang, Chang-Shing Lee, Mikiko Kawaguchi, Shusaku Tsumoto, Hiroshi Tsuji: FML-based Japanese diet assessment system. FUZZ-IEEE 2013, 7/10-13/2013, Hyderabad (インド共和国).

20.Shusaku Tsumoto, Information Reuse in Hospital Information System, ITQM2013(招待講演), 5/16-18/2013, 蘇州 (中華人民共和国).

21.Shusaku Tsumoto: Evaluation, Revision and Construction of Clinical Care Plans (招待講演), IWPRHA, 11/11/2012, つくば国際会議場 (つくば).

22.Shusaku Tsumoto: Temporal Data Mining in History Data of Hospital Information Systems, IEEE SMC 2012, 10/16/2012, Seoul (大韓民国).

23.Shusaku Tsumoto: Temporal Data Mining Method for Nursing Schedule Management, IBICA, 9/26/2012, 高雄 (中華民国).

24.Shusaku Tsumoto: Towards Data-oriented Intelligent Hospital Service and Management- Data Mining Approach, 筑波大ベッドコントロールに関する国際シンポジウム, 9/1/2012, 筑波大学 (つくば).

25.Shusaku Tsumoto: Characterization of Hospital Services Using Temporal Data Mining (Best Paper Award), SRII Global Conference, 7/24/2012, San Jose(アメリカ合衆国) .

26.Shusaku Tsumoto: Temporal Data Mining of Order Entry Histories for Characterization of Medical Practice, CBMS2012, 6/22/2012, Rome (イタリア共和国)

[図書] (計 2 件)

1.Andrzej Skowron, Mihir K. Chakraborty, Jerzy W. Grzymala-Busse, Victor W. Marek, Sankar K. Pal, James F. Peters, Grzegorz Rozenberg, Dominik Slezak, Roman Slowinski, Shusaku Tsumoto, Alicja Wakulicz-Deja, Guoyin Wang, Wojciech Ziarko: Rough Sets and Intelligent System, Springer, 2013.

2. Fabio Massimo Zanzotto, Shusaku Tsumoto, Niels Taatgen, Yiyu Yao (Springer Verlag 2012)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

津本 周作 (TSUMOTO, Shusaku)

島根大学・医学部・教授

研究者番号 : 10251555

(2)研究分担者

平野 章二 (HIRANO, Shoji)

島根大学・医学部・准教授

研究者番号 : 60333506

花田 英輔 (HANADA, Eisuke)

佐賀大学・工学系研究科・教授

研究者番号 : 90244095