

医療プロセスのモデル化と

患者の待ち時間短縮シミュレーションに関する研究

片岡 隆之*, 金指 正和*, 藤原 宗幸**, 田中 稔次朗**

A Study on Medical Process Modeling and Patients' Waiting Time Simulation

Takayuki KATAOKA*, Masakazu KANEZASHI*,
Muneyuki FUJIWARA** and Toshihiro TANAKA**

Synopsis

This paper shows to make the medical process modeling by the result of correspondence analysis based on a lot of actual data in first step. Next, the result of correspondence analysis is considered to make the simulation model for Arena. After the simulation model is implemented based on waiting time, some improved simulation models are proposed. Lastly, one of the optimal results is shown in a case study.

Key words: medical process modeling, correspondence analysis, patients' waiting time, simulation model

1. はじめに

現代の医療業界は劇的なスピードで改革が進んでいる。食生活の変化とともに、人間が発症する病気も一緒に変化中、長寿大国といわれる日本では、数年前の健康ブームとともに、個々の健康に対する意識が非常に高くなった。医療機関も患者を確保するためにさまざまな方法で改革を試みている。例えば、専門性に特化した病院、患者への

心のケアを優先する病院、最新鋭の医療技術を取り入れ、常に新しいものを患者に提供する病院などがある。しかしながら、改革に力を入れるのは良いが、来院してきた患者を自分たちの病院で処理しきれないケースも散見される。実際に調査した病院の現場状況を後述の各表に示すが、例えば、ある病院では、午前中に診療を受けるため、診療時間の2時間前から待つケースも見受けられる。

*近畿大学工学部情報システム工学科

Department of Information and Systems Engineering,
School of Engineering, Kinki University

**県立広島大学大学院

Prefectural University of Hiroshima

つまり、医療現場は、患者が自分の求める診療を受けるために何時間も待たされているという現状にある。一方、このような医療現場は、病気を治す場所であると同時に、様々な病気の患者が集まることで、2次感染の恐れが高い場所にもなってきた。しかしながら、自分が求める医療サービスを受けるために待たされている患者は、その間に病状が急変したり、多少の無理は仕方ないと考えていたりすることも多いようである。そこで本研究では、より少ない待ち時間で患者が柔軟に診察を受けることができ、同時に診察患者数を増加することができる方策を検討する。

2. 対象モデルの構築

本研究の対象モデルを構築するため、一般的にどのような病気が診察されているかを限定し、それに対し、どのような検査が実施されているかを確定する必要がある。そこで本研究では、診療科の絞り込みを行った後に、病気の絞り込みを行った。

調査の結果、日本には17万以上もの医療施設が存在する¹⁾、その多くは単科診療所ではなく、いくつかの診療科が一緒に作られている。また、それぞれの診療科はある程度のまとまりがあることも分かってきた。そこで、どの診療科の相関が強いかを明らかにするためには、日本全国の診療科を調べて相関を取るべきであるが、それには膨大な時間がかかってしまう。そこで本研究では、東広島市内に存在する全医療施設を対象とし、診療科を絞り込む手法として数量化Ⅲ類を適用した。その結果から、主要な病気を抜粋し、検査上疾患部別に大まかに括ることで、検査の種類を分類した。その結果を表1に示す。

表1. 対象とする患者及び病気

患者の種類	診察可能な病気
消化器系の患者	腹痛、嚥下困難、心窩部不快感、肝炎、黄疸、腹部腫瘍
呼吸器系の患者	咳、胸水、胸膜炎性疼痛、気胸、喘鳴、呼吸困難、笛音
循環器系の患者	徐脈、心肥大、拡張期心雑音、高血圧、収縮期心雑音、心拡大、心膜摩擦音、頻脈、動悸

2.1. 構築モデルの前提条件

- (1) 検査のための準備時間は考慮しない
- (2) 患者と医療従事者は1:1
- (3) 病気の種類によって受ける検査が確定
- (4) 医師は診察の際に検査の必要性を確定
- (5) 一日の患者数は一様分布に従って生成

- (6) 検査機器は各1台
- (7) 患者は途中で帰らない
- (8) 患者の移動時間は考慮しない
- (9) 医療機材の故障は考慮しない
- (10) 医師の診断は一意に確定し変動しない

2.2. モデル変数

本研究で用いる変数を以下に定義する。

- i : 消化器系患者数
- j : 循環器系患者数
- k : 呼吸器系患者数
- DWT_i : 消化器系疾患患者における待ち時間
- CWT_j : 循環器系疾患患者における待ち時間
- RWT_k : 呼吸器系疾患患者における待ち時間
- D : 画像検査
- D_s : 画像検査室の到着時間
- D_e : 画像検査室の退出時間
- E : 心電図検査
- E_s : 心電図検査室の到着時間
- E_e : 心電図検査室の退出時間
- F : 機能検査
- F_s : 機能検査室の到着時間
- F_e : 機能検査室の退出時間
- U : 超音波検査
- U_s : 超音波検査室の到着時間
- U_e : 超音波検査室の退出時間

2.3. モデル計算式

各患者の待ち時間を調べるための式を以下に示す。

$$DWT_i = (D_{ei} - D_{si}) + (E_{ei} - E_{si}) + (F_{ei} - F_{si})$$

$$CWT_j = (E_{ej} - E_{sj}) + (D_{ej} - D_{sj}) + (U_{ej} - U_{sj})$$

$$RWT_k = (D_{ek} - D_{sk}) + (U_{ek} - U_{sk}) + (F_{ek} - F_{sk})$$

3. シミュレーションソフトによるモデル構築

3.1. Arena の採用

シミュレーション実験には汎用性の高い Arena を採用した。以下にその特徴や採用した理由を述べる。

3.1.1. Arena の特徴

Arena は製造業、運送業、サービスシステムなどに関する重大で複雑な再設計の変化に対する影響を分析するために作られたもので、企業全体の分析や生産性を高めるツールとして使用されている。また、待ち行列の作成法やリソースの過度な利用率など、プロセスのボトルネックの特定、要員、設備、資材の再計画に対する用途にも適している。そこで本研究では、待ち時間の分析に適する Arena を使用

する。Arena でのモデル化の代表的な例として、機械、作業員、搬送機器、コンベヤ、貯蔵スペースを有する生産工場や、各々の種類の顧客、店員、ATM、ローン係、貸し金庫を有する銀行、また、工場、倉庫、搬送経路を有する流通ネットワークなどがある²⁾。その他にも様々な現場でモデル化されている。また Arena の使いやすさや柔軟性が評価され、世界のビジネス界でも幅広く使われている。他のシミュレーションソフトウェアを抑え、利用実績では世界で約 30% のシェアを獲得している。

3.1.2. Arena の長所と短所

Arena の長所としては、事象をそのままモデル化できる柔軟性があり、モデリングで不確実性や非正常性を扱うことができ、モデリング構成要素に制約がないことが挙げられる。例えば階層的であることや、C 言語を使うことができる点がある。これらも長所の 1 つである。

一方、短所としては、確率的なシミュレーションからはランダムな出力を得るため、確率的な実験を行い、何の設定も変更せず同じ実験を行っても、幾分異なった結果しか見えてこない点が挙げられるため、注意を要する³⁾。

3.2. シミュレーション・モデルの構成

本モデルは下記に示す 4 つで構成されている。

- Coming to a hospital : 患者の来客に関する設定
- Examination : 診察に関する設定
- Various thorough examinations : 検査に関する設定
- Payment of medical expenses : 支払い及び再診の予約の設定

以下に各々のモデルについて、その内容を説明する。

3.2.1. Coming to a hospital

患者の来客に関する内部モデルを図 1 に示す。

Step1 患者が生成される。

Step2 初診患者か再来患者によって受付の時間が変更される。

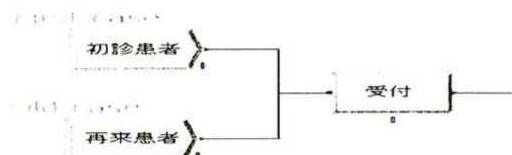


図 1. Coming to a hospital

3.2.2. Examination

診察に関する内部モデルを図 2 に示す。

Step1 患者が到着後、来院状態により医師に振り分けられる。

Step2 それぞれの医師によりどのような病気であるかが振り分けられる。



図 2. Examination

3.2.3. Various thorough examinations

検査に関する内部モデルを図 3 に示す。

Step1 患者が到着後、必要な検査が終わるまで検査を行う。

Step2 検査後に医師の診察を行い再受診の有無が決まる。

Step3 検査で入院が必要かどうかの判断が下される。

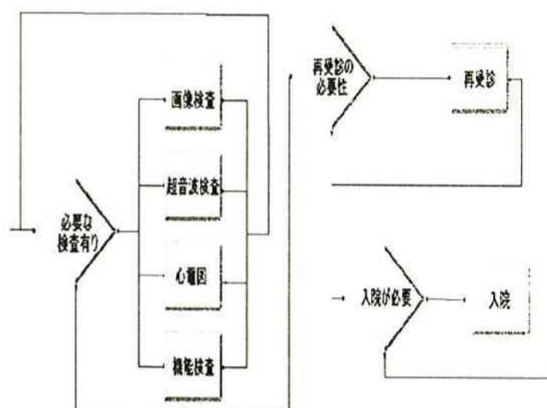


図 3. Various thorough examinations

3.2.4. Payment of medical expenses

支払い及び再診の予約に関する内部モデルを図 4 に示す。

Step1 再来院する必要があるのなら、受付で次の手続きを行う。

Step2 今回の医療費の代金を支払う



図 4. Payment of medical expenses

3.3. シミュレーション・モデル実験の条件

シミュレーション・モデル実験のための前提条件を以下に示す。

- (1) 運営時間は480分
- (2) 消化器系患者, 呼吸器系患者, 循環器系患者は同じ確率で出現
- (3) 検査が必要な患者は30%
- (4) 医師は3人, 各医療技師は1人
- (5) 検査機器は4種類
- (6) 消化器系の患者は, 病気によって画像検査, 心電図, 機能検査の検査を受診
- (7) 呼吸器系の患者は, 病気によって画像検査, 超音波検査, 機能検査の検査を受診
- (8) 循環器系の患者は, 病気によって超音波検査, 心電図, 画像検査の検査を受診

また, 病気の症状に応じて受ける検査を表2に示し, 本シミュレーションにおける検査の流れを表3に示す。

表2. 検査

	症状	検査		
消化器系	腹痛	D		
	嚥下困難			
	心窩部不快症	D	E	
	肝炎	D	F	
	黄疸	D		
	腹部腫瘍	D		
呼吸器系	咳	D	F	
	胸水	D	U	
	胸膜炎性疼痛	D		
	気胸	D		
	呼吸困難	D	F	
	喘鳴	D		
循環器系	笛音	D	F	
	徐脈	E		
	心肥大	E	D	U
	拡張期心雑音	U		
	収縮期心雑音	E	D	U
	高血圧			
	動悸	E		
	心膜摩擦音	E	D	
	頻脈	E		
	心拡大	E	D	

表3. 検査順番

	検査順番		
消化器系患者	画像検査	心電図	機能検査
呼吸器系患者	画像検査	超音波検査	機能検査
循環器系患者	超音波検査	心電図	画像検査

3.4. シミュレーション・モデル実験結果と考察

以上の条件に基づいて実施されたシミュレーションの結果を表4に示す。

表4. シミュレーション結果

	Result
The number of patient	74.3333 人
Digestive organ	8.6667 人
Respiratory organ	7.6667 人
Circulatory organ	9 人
light symptom	49 人

このモデルの正確性を判断するため, The number of patient (以下, 総患者数とする) を考察する。厚生労働省が開示している統計資料によれば, 日本全国の1日平均外来患者数は1,525,185人と記載されている³¹⁾。そこから, 東広島市の1日の外来診療患者数を積算すると, 本研究におけるシミュレーション結果と類似した。

また, 検査の順番については, 参考文献の医学書^{4) 5)}を基に一般的な検査手順を踏んでいることも判明したことから, 本モデルに使用しても差し障りないと考えられる。以下に, 診察時間の数値を表5に示す。

表5. 検査時間

Digestive organ(Max)	198.5min
Digestive organ(Min)	54.7min
Respiratory organ(Max)	151.2min
Respiratory organ(Min)	62.7min
Circulatory organ(Max)	101.6min
Circulatory organ(Min)	29.1min
light symptom(Max)	88.8min
light symptom(Min)	9.6min

4. シミュレーションによる改善提案

4.1. 検査順番の変更

各患者に対して各々の検査が割り当てられる際、その検査順番が一通りであることはあり得ない。そこで本研究では、患者一人ひとりの検査順番を変えるのではなく、患者の疾患部位の違いにより検査の順番を変更させる方法を適用した。その検査順番の変更例を表6に示す。

表6. 検査順番

	検査順番		
消化器系患者	機能検査	心電図	画像検査
呼吸器系患者	画像検査	超音波検査	機能検査
循環器系患者	超音波検査	心電図	画像検査

さらに、上記に示す変更方法により実行されたシミュレーション結果を表7及び表8に示す。

表7. シミュレーション結果

	Result
The number of patient	84.3333 人
Digestive organ	7.6667 人
Respiratory organ	8.6667 人
Circulatory organ	8.6667 人
light symptom	59 人

表8. 検査時間

Digestive organ(Max)	107.4 min
Digestive organ(Min)	34.6 min
Respiratory organ(Max)	114.9 min
Respiratory organ(Min)	46.8 min
Circulatory organ(Max)	102.3 min
Circulatory organ(Min)	1.9 min
light symptom(Max)	2.7 min
light symptom(Min)	0.9 min

以上の結果に示されるとおり、少しの検査順番の違いから、診察できる患者数が大きく変化する。検査順番を変えることにより、患者の待ち時間が減り、効率的な検査を受けられる状況へと変化させることができると考えられる。検査順番を変化させる条件下で、本シミュレーションを行った結果の中から、最適なものを表9及び表10に示す。ただし、この結果は確率的に出した数値であり、正確な最適解とは言えないことにも注意を要する。

表9. シミュレーション結果

	Result
The number of patient ^{*1}	88.6667 人
Digestive organ ^{*1}	10.6667 人
Respiratory organ ^{*1}	9.6667 人
Circulatory organ ^{*1}	8 人
light symptom ^{*1}	60.3333 人

表10. 検査時間

Digestive organ(Max)	84.5 min
Digestive organ(Min)	84.5 min
Respiratory organ(Max)	187.3 min
Respiratory organ(Min)	58.3 min
Circulatory organ(Max)	224.3 min
Circulatory organ(Min)	1.0 min
light symptom(Max)	2.6 min
light symptom(Min)	0.6 min

4.2. 考察

本実験結果から、検査待ち時間が少なく、より多くの患者を診察できる最適な検査順番を表11に示す。

基準モデルと結果を比較すると、検査待ち時間が減っている。これより、疾患部で検査の順番を変えると、全体として19.2%、循環器系患者は23.1%、呼吸器系患者は26.1%、検査が要らない患者は12.3%の増加が見られ、患者をより効率良く検査を行うことができるように改善できたことが分かる。

表11. 最適な検査順番

	Inspection order		
Digestive organ	心電図	画像検査	機能検査
Respiratory organ	画像検査	機能検査	超音波検査
Circulatory organ	超音波検査	心電図	画像検査

また、実験結果のグラフより、待ち時間の偏りが明らかになった。全検査時間が一番多い循環器系疾患の患者をどのように検査させるかが、後から来る患者の検査に強く影響を与えることも判明した。待ち時間の短縮に伴い、院内滞在時間が減少したことにより、医療施設に来院の2次感染を予防できることも期待される。

5. おわりに

本研究では、膨大な調査データの中から、数量化理論に基づき、医療現場をモデル化するとともに、そのシミュレーション結果より、医療現場での待ち時間を短縮し、より多くの患者を診察することができる方策を検討できた。

しかしながら、各々の病気発生率が全て均一である確率のみで考察しており、救急患者や手術患者などの不確定要素が盛り込まれていない。また、待ち時間発生 の要因である、到着率やサービス率、さらにはボトルネックの発生を考慮したリアルタイム・スケジューリングも考慮しなければならない。今後、より現場に近いシミュレーションが行えるように改良していく必要がある。

参考文献

- 1) 厚生労働省, 「医療施設動態調査」, 2007 年.
- 2) W・D ケルトン, R・P サドウスキー, D・T スタロック共著, 高桑宗右エ門監訳, 野村淳一訳 「Arena を活用した総合的アプローチ」, コロナ社, 第 3 版, pp.1~21, 1999 年.
- 3) 厚生労働省, 「平成 18 年病院報告の概況」, 2008 年.
- 4) 高久文麿著, 「改訂第 3 版 外来診療のすべて」, 株式会社メジカルビュー, 2003 年.
- 5) ロバート・B・テイラー著, 小泉 俊三監訳, 「10 分間診断マニュアル」, 株式会社メディカル・サイエンス・インターナショナル, 2005 年.