

人間ドックにおける最適スケジュール作成支援システムの試作

M2011MM028 伊藤真理

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

本研究では、人間ドックにおける受診者の検査順序に関するスケジュール作成についてオペレーションズ・リサーチを用いて考察し、検査時間が最小となるスケジューリングを行う。そして、実用性の高いシステム作成を目指す。

近年、生活習慣病の増加やメタボリック・シンドロームの増加などにより国民医療費が年々増加傾向にある。具体的には平成22年度の国民医療費は37兆4202億円、前年度の36兆67億円で比べ1兆4135億円、3.9%の増加となっている。また、人口一人当たりの国民医療費は29万2200円、前年度の28万2400円に比べ3.7%増加している[1]。これにより、医療費削減のために病気の早期発見が重要視され予防医療に対する意識が急速に高まった。しかし、人間ドックの受診率は、20歳以上で60.4%と依然として低い水準である[2]。その原因は、主に二つ考えられる。一つ目に“人間ドックを行うためには、ある程度まとまった時間の準備が必要”ということがあげられる。人間ドックの受診者は病気ではないため、慌ただしい日常生活の中に時間を見つけなければならない。もし時間を見つけて受診に訪れたとしても、待ち行列ができ、検査の予定終了時刻を大幅に経過することもある。二つ目に“人間ドックの料金が高額”ということがあげられる。一般的に、人間ドックの相場は3万円～4万円と高額である。人間ドックは、主となるコースを1つ選び、コース選択後、オプションとして、他の検査を付加する方法で行っている。そのため、複数の検査を受診する場合には、オプションとして追加代金を多額に支払わなければならない。

このようなことが受診率の低迷に関連していると考えられる。これによって、検査間の移動を円滑にし、検査時間を最小化することにより、受診者の時間的負担の軽減や従業員の削減による費用の減価に影響を与えられられる。そこで、スケジューリングが必要である。

これまでに、医療関係のスケジューリングではナース・スケジューリングが数多く研究されている。例えば、池上敦子先生の『我が国におけるナース・スケジューリング-モデル化とアプローチ-』は様々な論文誌や学会で取り上げられている[2]。

しかし、人間ドックでは受診者の健康状態や体質により検査にかかる時間(所要時間)が相当異なる。また、トラブルが起り兼ねないこともありタイムスケジュールによる検査は不可能ともいわれており、このような研究を行った論文は少ない。

本研究では、この課題を考慮した最適なスケジュールを作成する。また、スケジュールの作成をシステム化をさせ、利用者が使用しやすいシステムを作成する。現在は試作段階であるが、最終的には、実際の医療機関で使

用できる実用性の高いシステム作成を目標とする。

2 人間ドックにおけるスケジューリングの現状

現状を把握するために、人間ドックにおけるスケジューリングを考察している技術職の方と実績データを用いて議論を繰り返した。

2.1 問題の概要

受診者は、医療機関が設定している何種類ものコースの中から1つコースを選択し予約する。(必要があればオプションも選択し予約する。)その予約を基にスケジューリングを行うが、現在の人間ドックにおけるスケジュールは、受診者全員が同じ経路で検査を受診するスケジュールが多い。待ち行列ができた場合には空いている検査項目へと受診者が移動している。しかし、受診者の健康状態や体質により検査所要時間にかかる時間が相当違う。そのため、このようなスケジュールは効率的だといえない。<人間ドックにおけるスケジューリング問題>

いま人間ドックを受診するために同時に受診者 I 人現れるとする。この受診者は、それぞれが予約時に決定した検査 J 項目をすべて受診する。受診者は体質や健康状態、性別、年齢などにより所要時間が異なるため、受診者一人一人の所要時間を、あらかじめデータとして与えておく。これらの問題をできるだけ総検査時間が最小となるようなスケジュール作成を行う。

2.2 検査割当ての条件

人間ドックのスケジュール作成において守るべき条件として、以下のことがあげられる。

- (1) 受診者は指定された全ての検査項目を受診すること
 - (2) 受診者は重複して同じ検査を受診しないこと
 - (3) 検査ごとの同時受診可能人数の制限を守ること
 - (4) 検査間の検査順序を守ること
 - (5) 受診者の移動距離を考慮すること
- などがあげられる。

3 人間ドックにおけるスケジューリング問題

この項では、2項で明らかになった「人間ドックにおけるスケジュール作成において守るべき条件や目的」から、人間ドック・スケジューリング問題のモデル化を行う。

3.1 検査割当ての原則

人間ドックのスケジューリング作成において守るべき条件は以下の4つの条件とする。

1. 受診者は、予約したすべての検査項目を1度ずつ受診すること
 2. 検査項目の収容定員数を超えないこと
 3. 検査の優先順位を考慮すること(先行制約)
- 1および2は、絶対に守らなければいけない条件とし

て位置づけする。また、3は、なるべく守りたい条件として位置づけする。

3.2 検査時間と目的関数

検査時間は、5分ごとに区切り離散的に扱う。また、目的関数は「総検査時間の最小化」とし、多数の定式化を考察した。

さらに、これらの制約条件をふまえた定式化を考案するうえで問題の大きさ(受診者数、検査項目数)が数倍大きくなると計算時間が急激に大きくなるような定式化は避けた。

3.3 問題の解法

受診者の各検査項目における所要時間の集合と受診者の人数データ、検査データ、等が与えられたときに、人間ドックの最適スケジュールを決定する数理計画モデルを示す。人間ドックにおけるスケジューリングでは、実用的で十分短い計算時間で解ける0-1整数計画問題によるモデルが有効である。そのうえ、目的関数と制約式が全て線形関数であるような0-1整数計画問題は数多くの研究が行われている。またソフトウェアもそのような問題を解くものが多い。最適化ソフトウェアであるIBM¹ ILOG¹ CPLEX¹ Optimization Studioによって分析を行う。最終的には、VBA²プログラムを用いて、Microsoft² Excel²上に、実用可能なシステム実装を目指す。

3.4 定式化

3.4.1 記号の定義

添字

- I : 受診者 i の集合
- J : 検査 j の集合
- T : 時刻 t の集合

定数

- S_{ij} : 受診者 i が検査 j を受診するときの所要時間
- L_i : 受診者 i の次グループの開始時刻
- K_{jt} : 時刻 t で検査 j を受診可能な人数

以上の記号を用いて、人間ドックにおけるスケジューリング問題を定式化する。

3.4.2 定式化 1

決定変数

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{受診者 } i \text{ が検査 } j \text{ を時刻 } t \text{ から受ける} \\ 0 & \text{受診者 } i \text{ が検査 } j \text{ を時刻 } t \text{ から受けていない} \end{cases}$$

$$y_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{受診者 } i \text{ の検査 } j \text{ が時刻 } t \text{ で終了している} \\ 0 & \text{受診者 } i \text{ の検査 } j \text{ が時刻 } t \text{ で終了していない} \end{cases}$$

目的関数

$$\min. \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} t * x_{ijt}$$

制約条件

$$\sum_{t=1}^{T-S_{ij}+1} x_{ijt} = 1 \quad (i \in I, j \in J) \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t'=\max\{t-S_{ij}+1, 1\}}^{\min\{t, T-S_{ij}+1\}} x_{ijt'} \leq m_j \quad (j \in J, t \in T) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t'=\max\{t-S_{ij}+1, 1\}}^{\min\{t, T-S_{ij}+1\}} x_{ijt'} \leq 1 \quad (i \in I, t \in T) \quad (3)$$

$$x_{ijt'} \leq y_{ijt} \quad (i \in I, t \in T, j \in J, j' \neq j) \quad (4)$$

$$\sum_{t'=1}^t x_{ijt'} = y_{ijt} + S_{ij} - 1 \quad (i \in I, j \in J, t = 1, \dots, T - S_{ij} + 1) \quad (5)$$

$$\sum_{t=1}^{S_{ij}-1} y_{ijt} = 0 \quad (i \in I, j \in J) \quad (6)$$

$$\sum_{t \in T} t x_{ijt} - \sum_{t \in T} t x_{ijt'} \leq S_{ij'} \quad (i \in I, j, j' \in J(j < j')) \quad (7)$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\}, y_{ijt} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J, t \in T) \quad (8)$$

目的関数

検査時刻の総和の最小化

- (1) 受診者 i は各検査 j を必ず1度は受診する
- (2) 検査 j が同時に受診可能な人数の制限
- (3) 受診者 i は同時に検査 j を1つのみ受診する
- (4) 検査 j は検査 j' 以降に受診する(順序制約)
- (5), (6) は、 y_{ijt} の条件を満たす制約
- (7) 順序制約
- (8) 変数0-1整数制約

3.5項で示すデータの一部を使用し分析をした。受診者数、検査数、終了時刻をそれぞれ変更して分析した。受診者数5、検査数5、終了時刻50のとき実行時間は2分30秒であった。また、受診者数5、検査数13、終了時刻135のとき、実行時間は13分であった。当然のことながら、受診者数、検査数、終了時刻の変更に伴い実行時間の増加が見られる。そこで、実行時間が短縮できるような定式化を以下に示す。

3.4.3 定式化 2

定式化2では、目的関数に含まれている決定変数 x_{ijt} を x_{ij} に変更する。これより、全体の制約式を変更する。決定変数

x_{ij} : 受診者 i が検査 j を時刻 t で受診しているときの開始時刻

$$y_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{受診者 } i \text{ が検査 } j \text{ を時刻 } t \text{ で検査している} \\ 0 & \text{受診者 } i \text{ の検査 } j \text{ が時刻 } t \text{ で検査していない} \end{cases}$$

目的関数

$$\min. \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij}$$

制約条件

$$L_i \leq x_{ij} \leq T - S_{ij} \quad (i \in I, j \in J) \quad (9)$$

$$y_{ijt} \leq \max\{0, x_{ij} - t + S_{ij}\} \quad (i \in I, j \in J, t \in T) \quad (10)$$

$$y_{ijt} \leq \max\{0, t - x_{ij} + 1\} \quad (i \in I, j \in J, t \in T) \quad (11)$$

$$\sum_{t \in T} y_{ijt} - S_{ij} = 0 \quad (i \in I, j \in J) \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ijt} \leq 1 \quad (i \in I, t \in T) \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ijt} \leq K_{jt} \quad (j \in J, t \in T) \quad (14)$$

$$x_{ij'} + S_{ij'} \leq x_{ij} \quad (i \in I, j, j' \in J, j \neq j') \quad (15)$$

$$y_{ijt} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J, t \in T) \quad (16)$$

目的関数

受診者 i が検査 j を開始した時刻の総和の最小化

- (9) 各受診者 i の各検査 j は指定した時刻内に終わる
- (10), (11), (12) は, y_{ijt} の条件を満たす制約
- (13) 受診者 i は同時に検査 j を 1 つのみ受診する
- (14) 検査 j が同時に受診可能な人数の制限
- (15) 検査 j は検査 j' 以降に受診する (先行制約)
- (16) 変数 0-1 整数制約

定式化 1 と同様のデータで定式化 2 を分析する. 受診者数 5, 検査数 5, 時刻数 50 のとき実行時間は 30 秒であり, 受診者数 5, 検査数 13, 終了時刻 135 のとき, 実行時間は 4 分である. この結果より, 実行時間の短縮を実現した.

4 人間ドック・スケジューリング支援システムの試作

対象とする組織は, 人間ドックにおけるスケジュールを必要とする医療現場である. PC 操作に不慣れでも使いこなせることができるように, 容易なシステム構築を目指す.

4.1 システムの概要

医療機関が, 受診者情報を獲得し, 迅速なスケジュール作成を実現するために, ボタンのクリックのみで使用可能なシステムの試作を Excel 上の VBA から CPLEX を起動させ, システムの試作を作成した.

このシステムの構造は, 予約時に担当者が記入するファイルを読み込み, テンプレートファイルに格納する. グループ分割後, VBA から CPLEX の起動をし, スケジューリングを行う. 得られて解は, テンプレートファイルに格納され, “同時刻に受診している受診者のガントチャート”, “個人の受診スケジュール”, “検査室の稼働状況” この三種類の表示方法から使用目的に従って選択し, 使用するものとして考察してある.

4.2 システム作成の手順

このシステムは, 図 2 に示すメニュー画面のみで操作を行う.

システム作成の手順は, 以下に示す.

1. テンプレートファイルに必要なデータを取得
 - ・メニューフォームの (1) ボタンを押す
2. 読み込んだデータから受診者と検査日時を決定
 - ・メニューフォームの (2) ボタンを押す
3. スケジューリング作成プログラムを実行
 - ・メニューフォームの (3) ボタンを押す (データの整理)
 - ・メニューフォームの 1 から 4 までのボタンを順番に押す (CPLEX の起動)
4. 結果の書き込み
 - ・実行結果ボタンを押す

支援システムのメニュー画面 (入力画面) を以下の図 1 に示す.

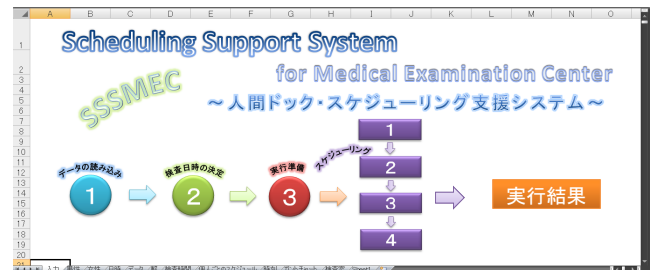


図 1 支援システムのメニュー画面

4.3 データについて

データ源としては 2011 年 4 月 1 日から 4 月 28 日までの健康診断の検査時間データを用いた. 今回は, 上記のデータから 40 人分をランダムに抽出し使用した. また, 検査については上記の検査データを用いた. 詳細を以下に記す.

日数: 1 日分

受診者: 40 人

検査会場 (階数): 2 フロアー (1 階に 6 項目, 2 階に 21 項目)

検査項目: 28 項目 (当日提出である便と尿を除く 26 項目)

各検査の同時受診可能者数: ごとに規定 (同時検査可能人数 1 人~3 人)

検査の先行制約: 胃カメラ, 胃レントゲン, 血圧, 乳腺視触診, 負荷心電に先行制約

受診者は, 人間ドックを受診する際あらかじめ予約をする. その際, 医療機関側が予約情報データ (受診日時, 性別, 氏名, 検査項目など) を作成する. 本研究では, 予約情報データを健康診断の実績データを参考に作成した.

スケジューリングを作成するにあたって, データを小規模化し, 計算時間の短縮を行うために時刻を 5 分単位とした. データの縮小の方法としては, 以下の計算式を使用した.

(所要時間) / 5 = X (小数点第 1 位切り上げ)

各所要時間を 5 で割り, 小数点第 1 位を切り上げとした.

4.4 グループ編成

短時間で分析を行うために、グループ編成し、問題を小規模化した。2通りのグループ編成を以下に示す。

1. 受診者のグループ分割

今回は、10分おきに5人ずつ来客するとした。

2. 検査項目のグループ分割

検査室や階数などによって以下に示す、4グループに分割した。具体的には、以下の図2に示す。

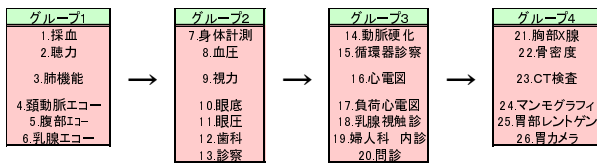


図2 検査のグループ編成

4.5 実行結果と考察

各グループの8組の計算時間は、以下の図3のようになった。

	グループ1	グループ2	グループ3	グループ4
1組目	3秒9	6秒65	9秒55	10秒68
2組目	4秒	9秒71	11秒83	11秒96
3組目	22秒57	30秒73	14秒51	15秒71
4組目	14秒98	26秒62	12秒41	10秒89
5組目	24秒64	32秒30	13秒35	17秒24
6組目	19秒81	30秒9	14秒51	17秒67
7組目	17秒2	49秒50	12秒81	1分22秒74
8組目	12秒56	37秒95	17秒63	11秒43

図3 計算時間

最長計算時間で1分22秒74、最短計算時間で3秒9であり、受診者の所要時間や検査項目数、時刻数によって大幅に変化した。また、平均計算時間は約20秒であり、システムとしては利用者の負担とならない計算時間で解くことができた。1日分のスケジュール作成に用いる合計計算時間は、10分48秒23である。

実行結果で得られた人間ドックにおけるスケジュールの一部を以下の図4に示す。

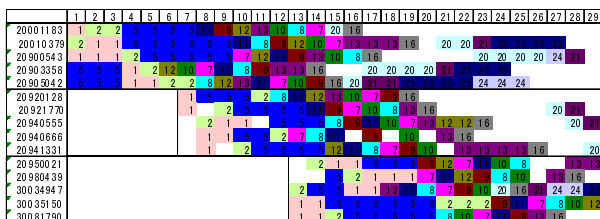


図4 人間ドックにおけるスケジュール

縦軸が受診者ID、横軸が時刻、ガントチャート内が検査である。総検査終了時刻は時刻94であり、総検査時間は7時間50分である。

本研究では、待ち時間がないスケジュール作成を目的としていたが、作成したスケジュールでは多大な待ち時間ができてしまった。最も長い待ち時間で1時間35分である。この待ち時間の原因として2つの検査項目があげられる。検査20の問診と検査13の診察である。これらの検査は、同時検査可能人数が1人であること、各受診者に所要時間のばらつきがあることなどが共通し、待ち行列を促進している。そのため、これらの検査の配置人数を増員し、他の検査項目を減員するなどの対策が考察される。

5 おわりに

本研究では、健康診断の検査時間データから5人分のスケジュールリングを行いシステム化させ、40人分のスケジュールリングに応用させ考察した。また、技術職の方と話し合いを重ね、より現実に近いスケジュール作成を行うように試みた。しかし、目的である実用性の高いシステム構築までは至らなかった。今後の課題としては、“事前に検査時間データが与えられていない受診者に対して所要時間をどのように与えるか。”、“既存の待ち時間に対しどのように対処していくのか。”などがあげられる。この課題を解決し、実際の受診者の検査時間に近い所要時間を与え、待ち時間が最小となるようなスケジュールを作成することにより、予防医療推進に貢献できると考えられる。

参考文献

- [1] 厚生労働省
<http://www.mhlw.go.jp/>.
- [2] 富尾淳, 小林廉毅:『国民健康保険レセプトデータを用いた過去の健康診査結果と医療費発生状況との関連』医療経済研究 vol.22, No.1, 2010.
- [3] 池上敦子:『我が国におけるナース・スケジュールリングーモデル化とアプローチ』成蹊大学大学院, 博士学位論文, 2001.
- [4] 平野英保, 松田達, 濱田ひとみ, 橋本修二, 中村吉孝:『時刻ダイアによる短時間に多項目を高信頼性で行う4W1Hの健診システムの立ち上げ』第23回バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会, 講演論文, 2010.

¹IBM, ILOG, CPLEX は、IBM Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

²Microsoft, Excel, VBA は、米国 Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。