

S⁴ Simulation Systemを用いた 外来化学療法における 待ち時間シミュレーション

大阪大学大学院 医学系研究科 保健学専攻

博士前期課程1年 赤瀬 遥平

指導教官 大野 ゆう子

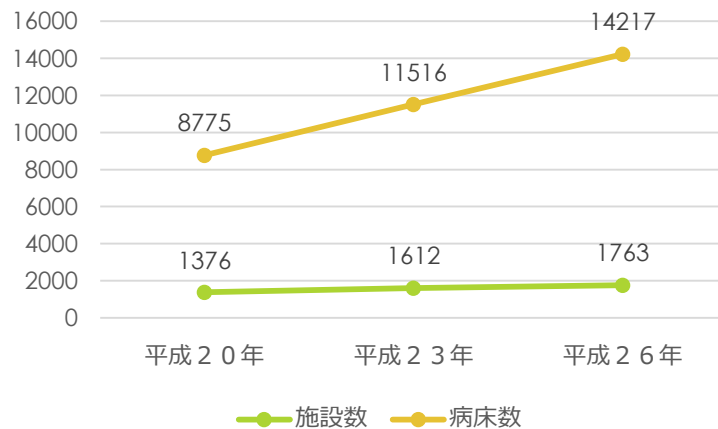
外来化学療法とは

▶ 背景

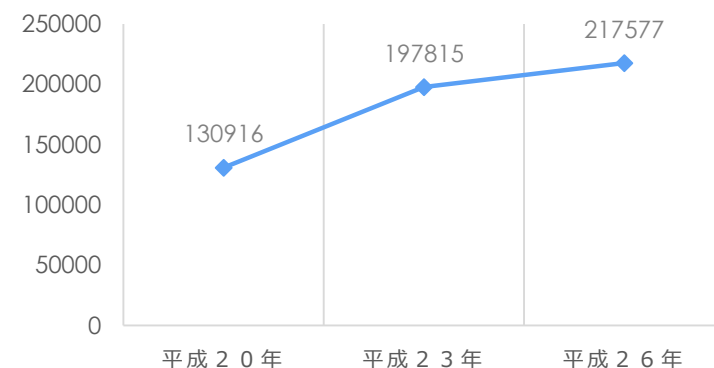
「化学療法」はがん治療目的で、抗がん剤を投与する治療方法である。

近年では超高齢化社会に伴いがん治療を受ける患者の増加や入院日数の短縮、新しい抗がん剤の開発や支持療法の進歩によって治療による副作用の負担が軽減されてきたこと等によって、**通院外来での化学療法が増加している。**

外来化学療法室の施設数と病床数の推移



外来化学療法の患者延数



外来化学療法と待ち時間

▶ 外来化学療法と待ち時間

外来化学療法を受ける患者は1～2週間に一度の周期で通院し、治療を受ける必要があり、病院での待ち時間の長さと不確実性は患者の苦痛や行動の制限につながる。

厚生労働省が行った平成26年の受療行動調査^[2]では外来での待ち時間に対して27%の患者が不満と回答しており、改善のための取り組みが必要とされている。

患者視点での外来化学療法の流れ

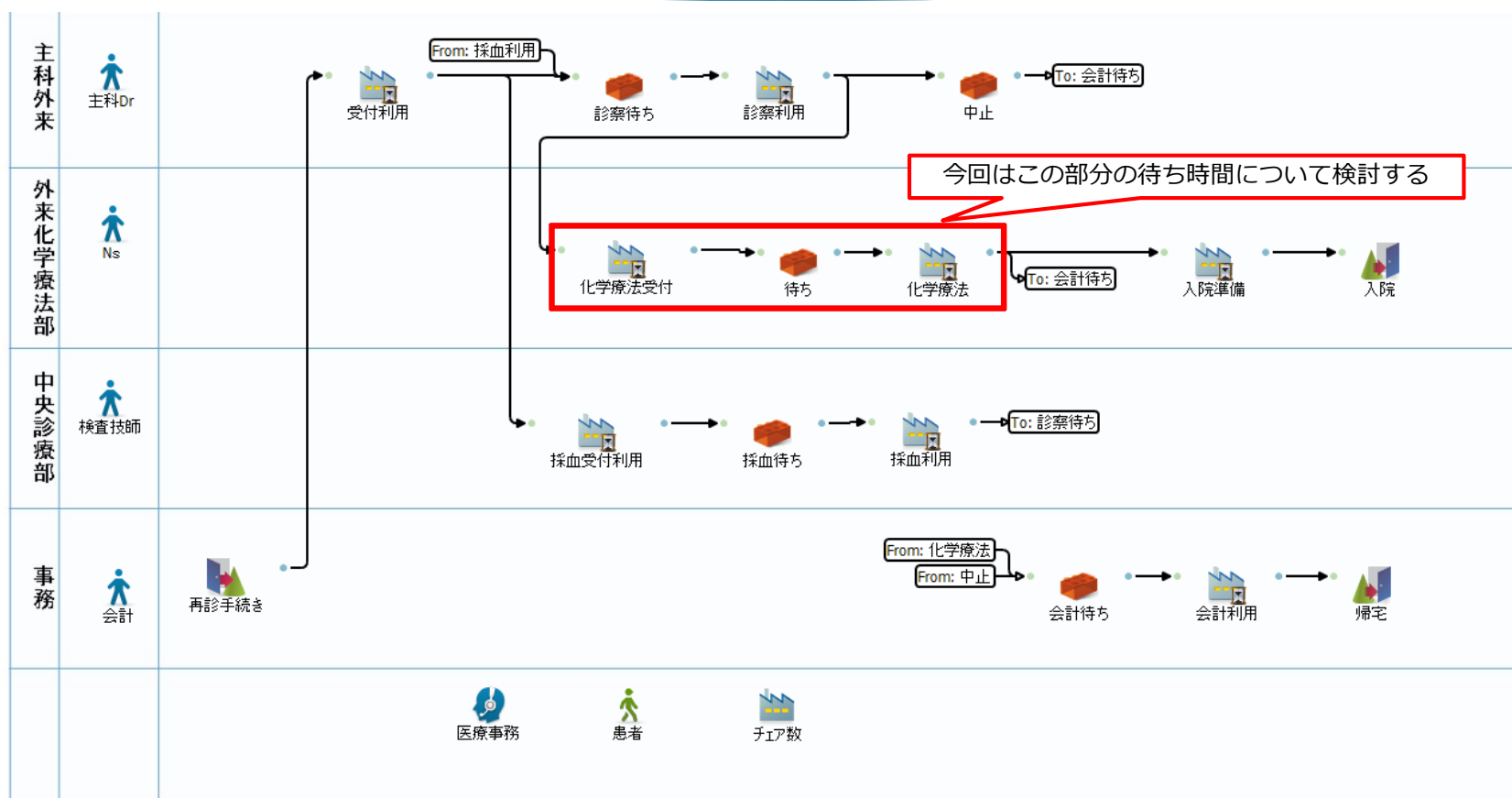
- ▶ 患者は予約時間に再診受付に到着し、主科外来Drの診察を受ける。
 - ▶ この時、先に血液検査を受けてから診察を受ける場合もある。
- ▶ 診察の結果、主科外来Drの治療決定の判断が出れば、外来化学療法部の受付に移動する。
- ▶ 化学療法を受ける。
 - ▶ このとき「ベッド*1」を1床占有し、点滴によって抗がん剤投与を受ける。投与時間はレジメン*2によって異なる。ベッドの空きがない場合は空くまで待つ。
- ▶ 治療後、会計受付に移動し、清算後に帰宅する。

今回はこの部分の待ち時間について検討する

*1 実際にはチェアタイプも多いが、今回はそれらを含め「ベッド」と表記する

*2 レジメン=投与する抗がん剤の薬名・量・期間などを示した計画書

患者視点での全体アクティビティ図



今回検討すること

- ▶ まず外来化学療法の待ち行列について基本モデル設定する。
- ▶ 次に以下のパラメータの変更をした場合についてそれぞれ検討する
 1. 治療件数を増やした場合
 2. ベッド数を増やした場合
 3. 予約時間枠を増やした場合
 4. 予約枠を午前午後の2つに設定した場合
 5. 要治療時間別に患者を2グループに分けた場合
- ▶ 最適化の計算を行う。
- ▶ 最後にそれぞれの変数を変更した場合の影響の違いについて考察する。

方法

- ▶ 使用ソフト

S⁴ Simulation System Version 4.3.0（NTTデータ数理システム）を用いる。

- ▶ 検討する変数

「治療件数」「ベッド数」「予約時間枠の数」

- ▶ 評価項目

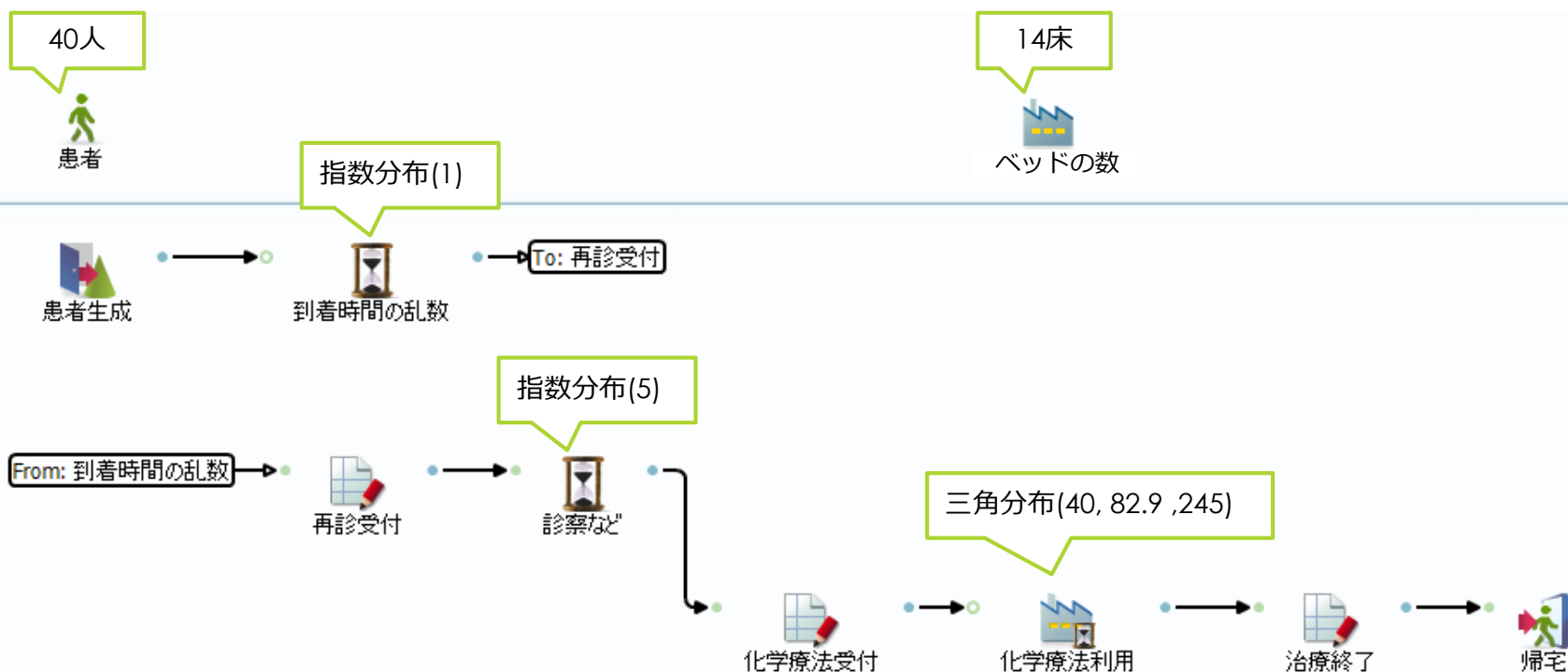
「平均待ち時間」「最大待ち時間」「最終患者退出時刻」

基本モデル設定

- ▶ 今回、A病院で過去に行われたタイムスタディ手法による調査研究^[3]のデータを元にモデル設定を行った。
- ▶ パラメータの設定

患者到着時間の分布	指数分布(1)
治療前の診察などに掛かる時間	指数分布(5)
ベッド数	14床
化学療法の治療時間	三角分布(40, 82.9 ,245)
治療件数	40件
予約時間枠	1枠
反復試行回数	100回
シード値	0

S⁴での表現



* A病院の化学療法外来について

▶ 背景

A病院は近畿地方に所在する病床数約1000床の病院である。

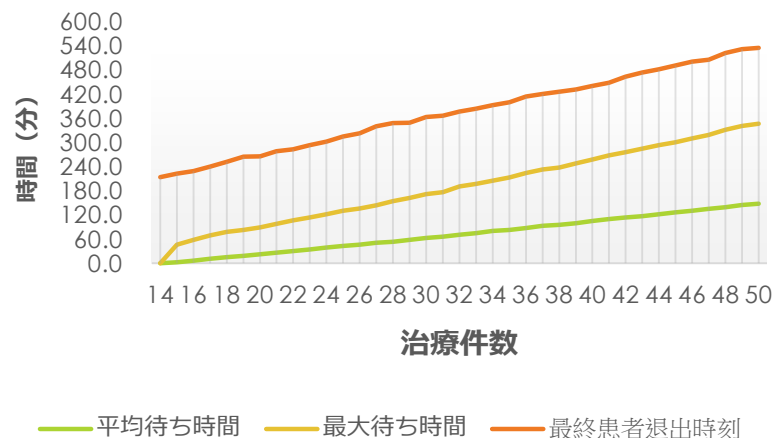
2003年に新設された外来化学療法部は当時14床であったが、増加する患者数に対応できず、患者の待ち時間が80分を超えることもあった。

その後、2009年11月に外来化学療法の病床数を14床から19床に増床しており、元とした調査研究^[3]はその頃に行われた。

結果

治療件数を増やした場合

治療件数と待ち時間



治療件数	平均待ち時間	最大待ち時間	最終患者退出時刻
20	22.6	89.6	265.8
30	63.1	172.3	363.2
40	105.1	257.6	440.5
50	148.5	346.7	534.9

▶ 設定

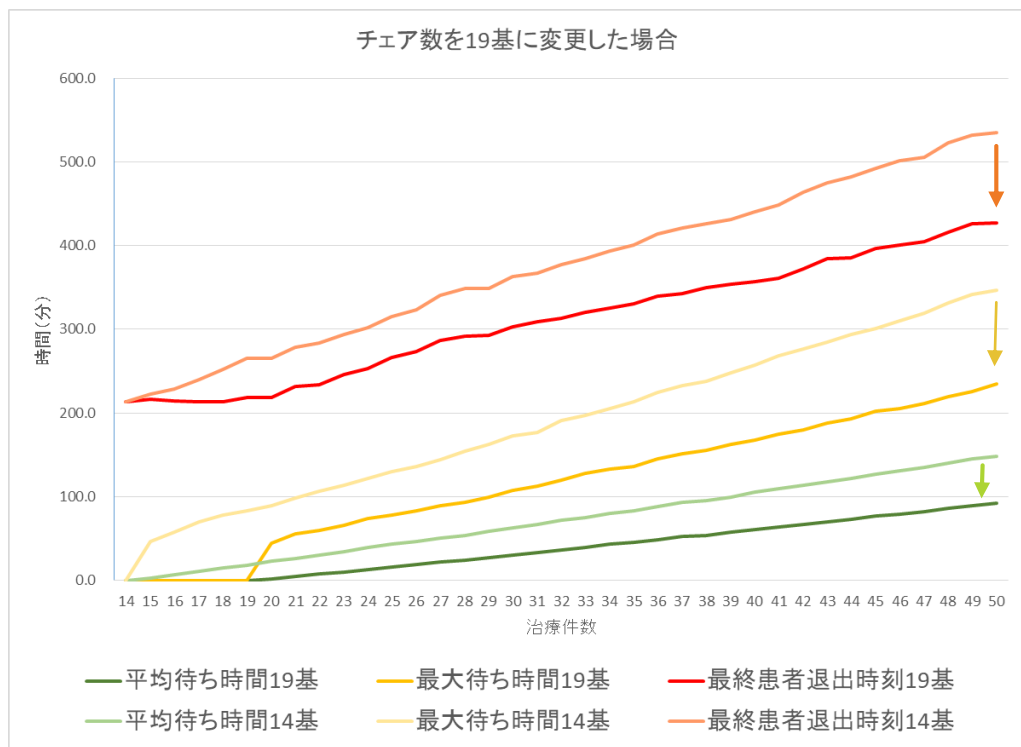
治療件数を14-50件の範囲で動か
し、繰り返し試行。

▶ 結果

治療件数の増加に比例して、いずれ
の項目も増加した。

最大待ち時間と最終退出時刻の差は
ほぼ同じ幅で推移する結果となっ
た。

ベッド数を増やした場合の検討



設定

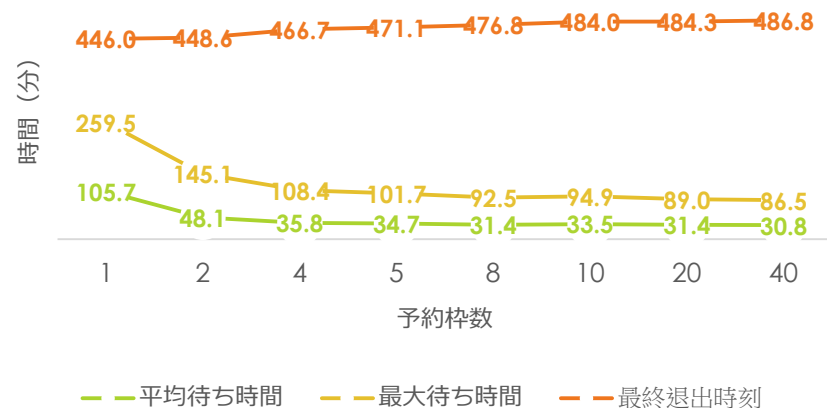
ベッド数を19床に変更し、治療件数14-40件の範囲で繰り返し試行。14基の場合と比較。

結果

ベッド数を増やすことは、待ち時間の低下につながり、その影響は治療件数が増えるほど大きくなることが分かった。

予約時間枠の検討

予約時間枠数の検討



▶ モデル設定

予約時間枠を1-40枠の範囲で設定し、繰り返し試行（240分を分割）

▶ 結果

平均待ち時間と最大待ち時間は1枠とそれ2枠以上では大きく異なる結果となった。

最終退出時刻については、緩やかな変化となった。

枠の数	枠の時間	人数/枠	平均待ち時間	最大待ち時間	最終退出時刻
1	240	40	105.7	259.5	446.0
2	120	20	48.1	145.1	448.6
4	60	10	35.8	108.4	466.7
5	48	8	34.7	101.7	471.1
8	30	5	31.4	92.5	476.8
10	24	4	33.5	94.9	484.0
20	12	2	31.4	89.0	484.3
40	6	1	30.8	86.5	486.8

更に検討

▶ 午前枠と午後枠の設定

診療枠を午前枠(9時)と午後枠(13時)の2つに分ける。

この設定は実際に多くの病院の外来化学療法室で行われており、より現実と近い予約枠の設定方法である。

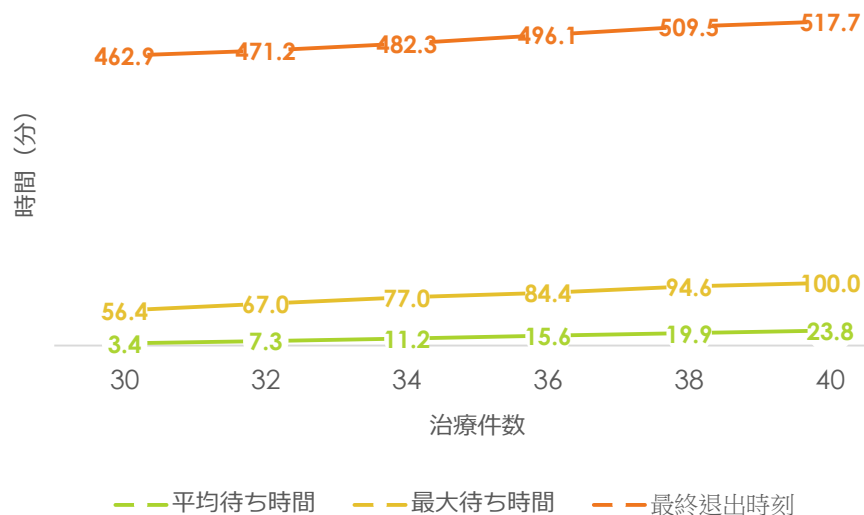
この場合、午前枠に予約している患者は到着した順番で9時から治療を受けることができる。

▶ 要治療時間別に患者を分ける方法

外来化学療法における要治療時間は実際には患者ごとに処方されるレジメンによってある程度予測可能であり、病院は予めそれらを把握した上で予定を組むことができる。

午前・午後枠に分ける場合の検討

午前・午後の2枠に分けた時の検討



▶ モデル設定

予約枠を午前枠(9時)と午後枠(13時)の2つに分け、治療件数を30件-40件の範囲で繰り返し試行。

▶ 結果

治療件数が30件から40件に増加することで、平均待ち時間は約20分、最大待ち時間は約40分増加することが分かった。

要治療時間別にグループを2つに分ける場合の検討

▶ 設定

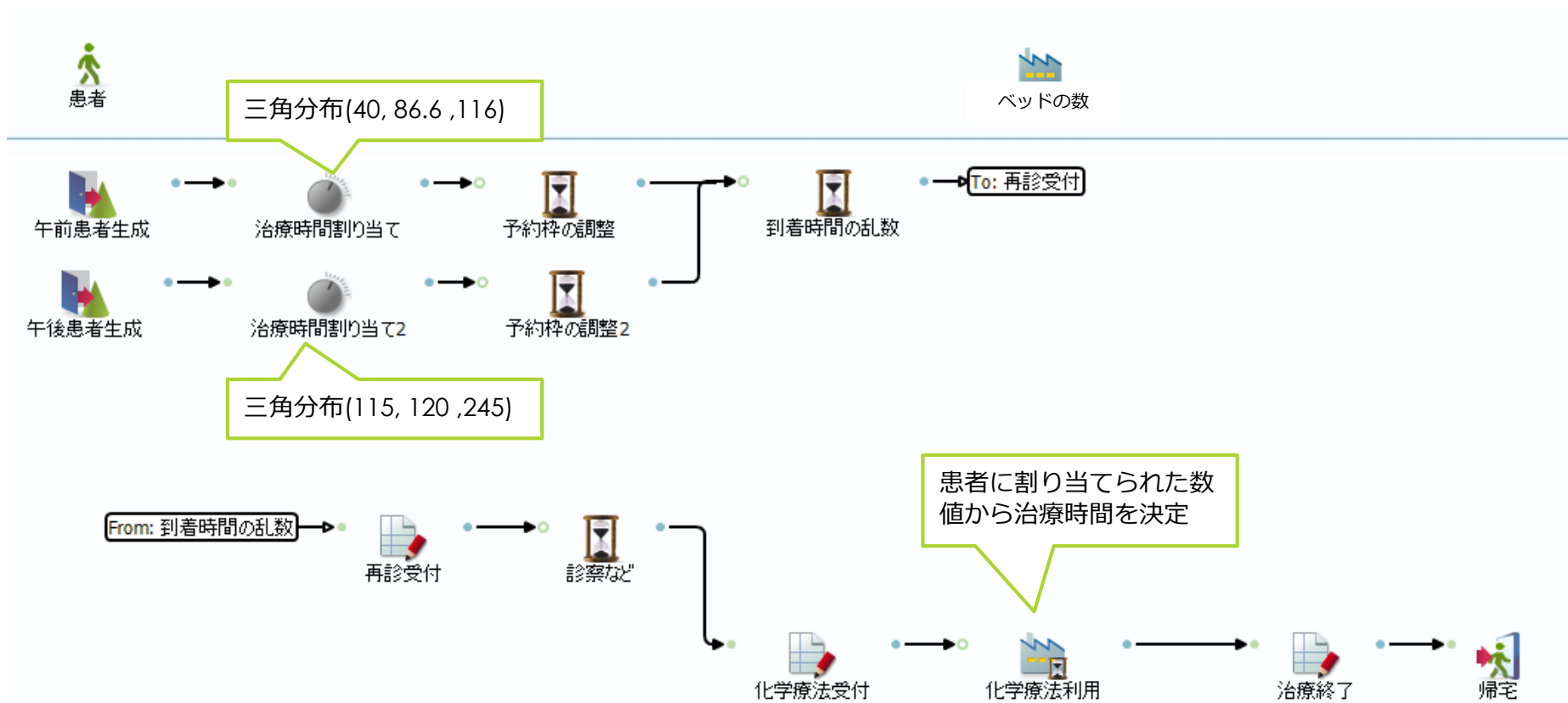
患者を要治療時間の長さで分け、午前に要治療時間が短い患者を全員割り当てる[午前型]、午後に全員割り当てる[午後型]、要治療時間別に別けない[混在型]の3パターンを試す。

▶ 方法

元の三角分布(40, 82.9, 245)を用いて、患者が上下同数の2群に別れる様に新たな三角分布を作成。

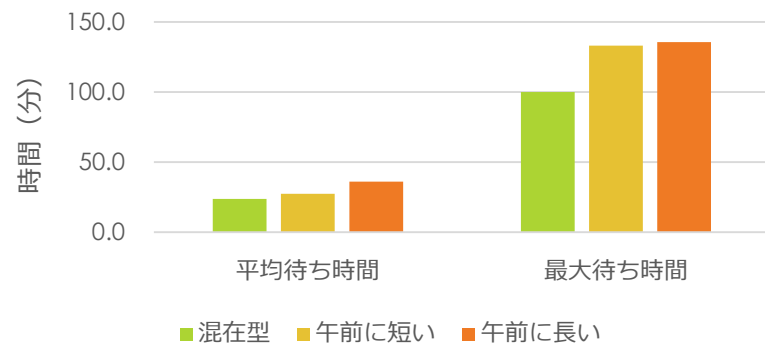
2つに分けた新しい三角分布 (115, 120, 245)、 (40, 86.6, 116)

患者を要治療時間の長さで2グループに分ける場合の検討



患者を要治療時間の長さで2グループに分ける場合の検討

要治療時間別に午前午後を分ける



	平均待ち時間	最大待ち時間	最終退出時刻
混在型	23.8	99.9	517.5
午前に短い	27.5	133.0	582.0
午前に長い	36.2	135.5	427.0

▶ 結果

最も平均待ち時間・最大待ち時間が短いのは元の分布を使用した混在型であった。

この結果から、混在型の中に平均待ち時間・最大待ち時間が最短となる組み合わせが存在することが推測される。

→最適化計算によって算出する

最適化の検討

▶ 目的

午前・午後枠の人数配分と、それぞれにどの割合で要治療時間が長い患者を多く振り分けるかで平均待ち時間・最大待ち時間・最終退出時刻が最短となるのかを最適化計算によって算出する。

▶ 設定

変数 1 : 午前・午後枠の人数 (合計は40人。午前を10~30人の範囲で2つつ変動)

変数 2 : 要治療時間別の長い患者と短い患者の割合 (午前を-5~+5の範囲で変動)

レプリケーション回数 : 1-3回 反復回数 : 最大100回

▶ 方法

目的関数に標準化した「平均待ち時間」「最大待ち時間」「最終退出時刻」を設定し、すべてを合計した場合とそれぞれの場合での最小値を求める。

* 患者配分の式

今回は午前治療数と午前治療での要治療時間の長い患者の増分を変数とし、以下の様な配分とする。

	要治療時間	患者数	合計	総数
午前枠	長い	$(\text{午前患者}/2) + \text{午前に長い患者数}$	午前患者数	40
	短い	$(\text{午前患者}/2) - \text{午前に長い患者数}$		
午後枠	長い	$(40 - (\text{午前患者}/2)) - \text{午前に長い患者数}$	40 - 午前患者数	
	短い	$(40 - (\text{午前患者}/2)) + \text{午前に長い患者数}$		

例えば「午後治療件数=18件、午前の要治療時間の長い患者の増分=3件とした場合」、患者の配分は以下の表のようになる。

	要治療時間	患者数	合計	総数
午前枠	長い	$9 + 3 = 12$	18	40
	短い	$9 - 3 = 6$		
午後枠	長い	$11 - 3 = 8$	22	
	短い	$11 + 3 = 14$		

* 目標関数の詳細

- ▶ 要治療時間を分けずに午前件数を10-30件の範囲で各100回繰り返し実行し、出力された「平均待ち時間」「最大待ち時間」「最終退出時刻」から平均と標準偏差を求め、これらを用いて目的関数の標準化を行った。

	平均待ち時間	最大待ち時間	最終退出時刻
平均	39.318	144.590	489.683
標準偏差	17.305	39.583	47.806

- ▶ 分析スクリプト

```
n1 = Monitor(name = u"化学療法利用-ファシリティの記録", basedir = self.outputDir)[u"待ち時間"].mean()
```

```
n2 = Monitor(name = u"化学療法利用-ファシリティの記録", basedir = self.outputDir)[u"待ち時間"].max()
```

```
n3 = Monitor(name = u"治療終了-記録", basedir = self.outputDir)[u"帰宅記録"].max()
```

```
return ((n1 -39.318)/17.305) + ((n2 -144.589)/39.583)+ ((n3-489.682)/47.805)# 目的関数
```

最適化の結果

平均待ち時間 + 最大待ち時間 + 最終退出時刻

順位	午前の治療数	午前(長い患者)	目的関数期待値
1	18	3	-1.95
2	22	1	-1.61
3	26	-2	-1.26
4	20	-3	-1.16
5	24	5	-0.77
6	30	-4	-0.44
7	28	2	-0.07
8	16	-1	0.02
9	12	4	0.91
10	14	-5	2.17

最適値を用いた場合の計算結果			
順位	平均待ち時間	最大待ち時間	最終退出時刻
1	22.6	93.7	510.7
2	24.7	109.6	493.9
3	29.4	128.5	470.4

▶ 結果

「平均待ち時間 + 最大待ち時間 + 最終退出時刻」を最小化する組み合わせは、午前治療数を18件、そのうち要治療時間が長い患者の増分を3人とする場合という結果になった。

最適化の結果 平均待ち時間

順位	午前の治療数	午前(長い患者)	目的関数期待値
1	18	3	-0.98
2	20	-3	-0.97
3	22	1	-0.82
4	16	-1	-0.79
5	26	-2	-0.52
6	12	4	-0.36
7	14	-5	-0.26
8	24	5	-0.21
9	30	-4	0.13
10	28	2	0.23

最適値を用いた場合の計算結果			
順位	平均待ち時間	最大待ち時間	最終退出時刻
1	22.6	93.7	510.7
2	22.3	105.1	535.5
3	24.7	109.6	493.9

▶ 結果

「平均待ち時間」を最小化する組み合わせも同じく、**午前治療数を18件、そのうち要治療時間が長い患者の増分を3人とする場合**という結果になった。

最適化の結果 最大待ち時間

順位	午前の治療数	午前(長い患者)	目的関数期待値
1	18	3	-1.31
2	20	-3	-1.03
3	22	1	-0.81
4	16	-1	-0.50
5	26	-2	-0.34
6	12	4	-0.18
7	24	5	-0.03
8	30	-4	0.13
9	14	-5	0.26
10	28	2	0.40

最適値を用いた場合の計算結果			
順位	平均待ち時間	最大待ち時間	最終退出時刻
1	22.6	93.7	510.7
2	22.3	105.1	535.5
3	24.7	109.6	493.9

▶ 結果

「最大待ち時間」を最小化する組み合わせは、午前治療数を18件、そのうち要治療時間が長い患者の増分を3人とする場合という結果になった。

最適化の結果 最終退出時刻

順位	午前の治療数	午前(長い患者)	目的関数期待値
1	28	4	-1.00
2	30	-4	-0.82
3	30	-1	-0.77
4	24	5	-0.61
5	28	2	-0.60
6	26	-2	-0.07
7	22	1	0.28
8	18	3	0.45
9	14	5	0.65
10	20	-3	0.85

最適値を用いた場合の計算結果			
順位	平均待ち時間	最大待ち時間	最終退出時刻
1	47.3	169.8	446.7
2	42.3	150.7	453.3
3	44.6	160.7	456.0

▶ 結果

「最終退出時刻」では、午前に多くの治療を行う方が良いという結果となった。

また要治療時間別の増分についてはそれほど関連はみられなかった。

考察

待ち時間に影響を与える変数

- ▶ 待ち時間に影響を与える変数として、「治療件数」「ベッド数（ファシリティのキャパシティ）」「予約時間枠の数」をそれぞれ検討した。
- ▶ 治療件数は減らすこと、ベッド数は増床すること、予約時間枠を増やすことで、平均待ち時間・最大待ち時間が短縮する傾向が示された。
- ▶ これらの変数のうち「予約時間枠の数」は運用方法によって変えることができ、待ち時間の短縮に繋げることができるため、今回のシミュレーション結果は検討材料として有用と考えられる。

評価項目について

- ▶ 評価項目のうち、「平均待ち時間・最大待ち時間」は両立して減らすことが可能といえる。
- ▶ 一方で「最終患者退出時間」は他の2項目とは全く異なり、午前枠に多くの治療件数をこなす組み合わせが最適解となった。
- ▶ 「平均待ち時間・最大待ち時間」は患者視点で重要な項目であることに対し、「最終患者退出時間」は施設側にとって重要な項目であるので、同列に合計し、比較することは難しいと言える。

予約時間枠について

- ▶ 「予約時間枠を午前と午後の2枠に分ける場合」「患者を要治療時間別に2グループに分けて考える場合」を合わせて人数比の最適化を検討した結果、午前に18件の治療を行い、そのうち3件多めに治療時間の長い患者を配置すること（長い患者12人、短い患者6人の配分）が最も「平均待ち時間・最大待ち時間」を最小化する期待値が高くなることが分かった。
- ▶ このことから、レジメンなどの情報に基づき、患者を要治療時間別に区分し、予約時間配置を適切に配分することが患者の待ち時間の短縮につながることを示唆された。

研究の限界・今後の展開

- ▶ 今回の研究は外来化学療法を受ける患者の来院から退院までの全体のプロセスのうち、化学療法室で治療を受ける部分のみをシミュレーションの対象としたが、実際には患者が体験する待ち時間には検査や診察、会計などの待ち時間などが含まれるため、今後の研究ではモデルを拡張し、考慮する必要がある。
- ▶ また、今回の研究ではボトルネックになる部分を外来化学療法室のベッド数に限定したが、実際には治療件数が増加することで、医師・看護師・薬剤師などの医療スタッフや調剤や投与を行う医療機器などの他の部分がボトルネックになる可能性があるためそれらもモデルに含めることが望ましい。

研究の限界・今後の展開

- ▶ また、実際の治療件数の設定ではベッドの回転率のみではなく、安全性も考慮してある程度の余裕を持たせた運用になっていることも想定されるため、今後の研究ではそれらも考慮する必要がある。
- ▶ 今回使用したモデル設定は過去に行われた調査研究に基づいているため、現在の状況を十分に反映できているかどうかについては十分な検証が行えておらず、今後の調査研究に基づき、感度分析をなどを行うことが必要である。
- ▶ 目的関数について、今回はそれぞれの「価値の違い」を考慮していないが、実際には検討に含める必要があると考えられる。

まとめ

S⁴ Simulation Systemを用いることで、外来化学療法における待ち行列モデルを構築することができ、シミュレーションによって様々な面から検討することができた。

医療機関における待ち時間の短縮は患者のQOL向上や施設の効率化にもつながるため今後も検討すべき課題であり、シミュレーションソフトの活用は有用といえる。

参考文献

▶ 参考文献

[1]平成26年(2014)医療施設（静態・動態）調査・病院報告の概況：厚生労働省

[2]平成26年受療行動調査（確定数）の概況:厚生労働省

[3]坂田奈津美(2009):「タイムスタディ手法を用いた外来化学療法部門の業務分析と増床前後の待ち時間比較」大阪大学保健学科 特別研究