

小児科入院患者の病棟間移動モデル
Operational Analysis of the Pediatric Patient Flow in a Hospital

筑波大学名誉教授・高木英明

Hideaki Takagi, Professor Emeritus, University of Tsukuba
takagi@sk.tsukuba.ac.jp

株式会社 SUBARU・家内祐太

Yuta Kanai, SUBARU CORPORATION
kanaiyuta7@gmail.com

概要

著者らは、筑波大学附属病院から提供された 2010～2012 年度に入院した全患者の病棟・病室間移動に関するオーダーログをデータ源として、入院患者の病院内移動過程（入院から退院まで）のシステム工学的モデル化を試みる研究を続けている。これまでに、産科患者の移動、及び新生児患者の移動過程の確率的モデルについて研究発表した [1],[2]。本研究では、小児科患者について、数理的モデル化を念頭におき、病棟間移動の観察データの分析を行った結果を紹介する。小児科患者は入院から退院までにいくつかの病棟を移動するが、その実績は毎日のオーダーログとして記録されている。そのデータを分析して、病棟間移動に関する患者数、患者が病院・各病棟に滞在する日数の総和（病院に対する負荷）、各病棟についての患者の到着・退出・在院数と滞在日数を算出する方法を示す。また、各患者が病院内を移動する過程の可視化として、在院チャートを提案する。

1 データ源

本研究のデータ源は、科学研究費補助金基盤研究 (A)、課題番号 23241047（平成 23～25 年度）、研究代表者：高木英明、研究課題「患者の満足とスタッフの適正労働を実現する地域基幹病院の医療サービス科学」において筑波大学附属病院から提供された 2010～2012 年度に入院した全患者の病棟・病室間移動に関するオーダーログである。

（注）筑波大学附属病院は、2012 年 12 月から新築された「けやき棟」に移っている。

2 病棟と病棟間移動に関するオーダーの種類

小児科患者を収容する病棟は次のとおりである。寧ろ、500 病棟または 600 病棟に滞在する患者を小児科患者 (pediatric patient) と定義する。

- ★ 200 病棟：Neonatal Intensive Care Unit (NICU)
- ★ 300 病棟：産科患者用普通病棟
- ★ 400 病棟：全診療科用 High Care Unit (HCU)
- ★ 430 病棟：全診療科用 ICU
- ★ 500 病棟：小児科患者専用病棟 (P) (24 床)
- ★ 600 病棟：小児科患者専用病棟 (P) (38 床)

★ 30G 病棟 : Growing Care Unit (GCU)

★ 一般病棟 : 1, 30, 101, 130, 401, 501, 530, 601, 630, 701, 730, 801, 830, 930

★ 一時退院 (仮想的に「000 病棟」と表す)

入院患者の病院内移動に関するオーダーには次のような種類があるが、このうち、外泊と帰院、診療科の変更 (転科)、及び同一病棟内での病室間の移動 (転室) は、病棟間移動を対象とする本研究では扱わない。また、退院の理由は考慮しない。

- 院外からの入院
- 院外への退院 (当院外来、通院不要、他院入院、他院外来、死亡、その他)
- 院内での病棟間移動 (転棟)
 - 外泊と帰院 (引き続き、同じ病棟に滞在し続けるとみなす)
 - 診療科の変更 (転科)
 - 同一病棟内での病室間の移動 (転室)

3 病棟間移動に関するオーダー

本研究における小児科患者の病棟間移動の観察期間は「2010 年 3 月 31 日～2012 年 (閏年) 4 月 1 日」の 2 年間 (733 日) であった。この期間内に在院した小児科患者は 1,477 人であった。

本研究では、病棟間移動に関するオーダーから次の情報だけを抽出した次の Excel データ形式を処理する (「診療科」の情報は利用しない)。

患者 ID (40 文字), 移動の発生日, 移動の事象, 診療科, 現在の病棟, 次の病棟

それぞれの患者は入院から退院までの在院期間内にいくつかの病棟を移動するので、各患者の病棟間移動は移動の発生日時刻 (本研究では「発生日」だけを取り出す) の順に並べられた複数のオーダーで記述される。表 1 に観察期間における本研究で扱うオーダーの数を示す。観察期間が始まる前から在院している患者については、最初に「入院」のオーダーが現れない。また、観察期間の終わりになっても在院している患者については、最後に「退院」のオーダーが現れない。このような患者については、集計処理の便宜上、「入院日なし」または「退院日なし」という事象のオーダーを人工的に補完する。表 2 に、観察期間外の入退院を表すオーダーを補完した後のオーダーの数を示す。「最初の入院日なし」は 2010/3/31 の在院患者数 (49 人) であり、「最後の退院日なし」は 2012/4/1 の在院患者数 (37 人) である。

表 1: もとのログのオーダーの数

種類	オーダー数
院外からの入院	2,155
院外への退院	2,167
院内での転棟	585
合計	4,907

表 2: 補完したログのオーダーの数

種類	オーダー数
院外からの入院	2,155
院外への退院	2,167
院内での転棟	585
最初の入院日なし	49
最後の退院日なし	37
合計	4,993

患者の病棟間移動に関するオーダーの例を下記の (a)～(e) に示す。

(a) 観察期間内に最初の入院日と最後の退院日がある患者

表 3 の患者は、2011 年 1 月 7 日に 500 病棟に入院し、1 月 28 日に 500 病棟から 430 病棟に転棟し、2 月 1 日に 430 病棟から 500 病棟に転棟し、2 月 19 日に 500 病棟から退院する。その後の観察期間内に再入院しない。

表 3: 観察期間内に最初の入院日と最後の退院日がある患者

患者 ID (40 文字)	発生日	事象	診療科	現病棟	次病棟
021d9cec3...83c496d	2011/1/7	入院	小内	000	500
021d9cec3...83c496d	2011/1/28	転棟	小内	500	430
021d9cec3...83c496d	2011/2/1	転棟	循外	430	500
021d9cec3...83c496d	2011/2/19	退院	小内	500	000

(b) 観察期間内に最初の入院日がなく、最後の退院日がある患者

表 4 の患者は、観察期間が始まる前から 600 病棟にいて、2010 年 4 月 16 日に 600 病棟から 601 病棟に転棟し、4 月 22 日に 601 病棟から退院する。その後、5 月 10 日に再入院して 600 病棟に入り、6 月 22 日に 600 病棟から退院する。その後の観察期間内に再入院しない。

表 4: 観察期間内に最初の入院日がなく、最後の退院日がある患者

患者 ID (40 文字)	発生日	事象	診療科	現病棟	次病棟
14d8ce7e0...e74bed5	2010/4/16	転棟	小内	600	601
14d8ce7e0...e74bed5	2010/4/22	退院	小内	601	000
14d8ce7e0...e74bed5	2010/5/10	入院	小内	000	600
14d8ce7e0...e74bed5	2010/6/22	退院	小内	600	000

(c) 観察期間内に最初の入院日があるが、最後の退院日がない患者

表 5 の患者は、2010 年 7 月 12 日に 600 病棟に入院し、10 月 22 日に 600 病棟から退院する。その後、2011 年 5 月 20 日に再入院して 401 病棟に入り、翌日に 401 病棟から 600 病棟に転棟し、6 月 28 日に退院する。さらにその後、7 月 19 日に再入院して 600 病棟に入り、9 月 1 日に 600 病棟から退院する。最後に、10 月 14 日に再入院して 600 病棟に入り、そのまま観察期間の終わりまで在院する。

表 5: 観察期間内に最初の入院日があるが、最後の退院日がない患者

患者 ID (40 文字)	発生日	事象	診療科	現病棟	次病棟
a2f6c850f...94b45a4	2010/7/12	入院	小内	000	600
a2f6c850f...94b45a4	2010/10/22	退院	小内	600	000
a2f6c850f...94b45a4	2011/5/20	入院	小内	000	401
a2f6c850f...94b45a4	2011/5/21	転棟	小内	401	600
a2f6c850f...94b45a4	2011/6/28	退院	小内	600	000
a2f6c850f...94b45a4	2011/7/19	入院	小内	000	600
a2f6c850f...94b45a4	2011/9/1	退院	小内	600	000
a2f6c850f...94b45a4	2011/10/14	入院	小内	000	600

(d) 観察期間内に最初の入院日がなく、最後の退院日もない（途中で退院期間がある）患者

表6の患者は、観察期間が始まる前から600病棟にいて、2010年4月10日に600病棟から退院する。その後、2012年3月21日に再入院して401病棟に入り、そのまま観察期間の終わりまで在院する。

表6: 観察期間内に最初の入院日がなく、最後の退院日もない（途中で退院期間がある）患者

患者ID (40文字)	発生日	事象	診療科	現病棟	次病棟
eb7b2c4e3...c1d21e3	2010/4/10	退院	脳外	600	000
eb7b2c4e3...c1d21e3	2012/3/21	入院	脳外	000	401

(e) 観察期間を通して在院していた患者（このような患者が1名いた）

表7の患者は、観察期間が始まる前から500病棟にいて、2011年11月9日に500病棟から430病棟に転棟し、11月29日に430病棟から500病棟に転棟し、2012年2月1日に500病棟から430病棟に転棟し、11月29日に430病棟から500病棟に転棟し、2012年2月1日に500病棟から430病棟に転棟し、2月13日に430病棟から500病棟に転棟し、そのまま観察期間の終わりまで在院する。

表7: 観察期間を通して在院していた患者

患者ID (40文字)	発生日	事象	診療科	現病棟	次病棟
3e14e2fdb...fcc8811	2011/11/9	転棟	小内	500	430
3e14e2fdb...fcc8811	2011/11/29	転棟	小内	430	500
3e14e2fdb...fcc8811	2012/2/1	転棟	小内	500	430
3e14e2fdb...fcc8811	2012/2/13	転棟	小内	430	500

4 病棟間移動に関する患者数

観察期間における各病棟への到着患者数（在院日数が0の入院・転棟を含む）と各病棟からの退出患者数を考える。

始めに病院全体について、病棟への到着患者数の総和（最初から在院していた患者を含む）を表8に示す。また、病棟からの退出患者数の総和（最後まで在院していた患者を含む）を表9に示す。1件の病棟間移動が発生するごとに、表8の「他病棟からの転入」が1件と表9の「他病棟への転出」が1件発生するので、観察期間にわたる両者の数値は等しい（585件）。また、2010/3/31の在院患者49人を観察期間が始まる前から在院していた患者数と考え、2012/4/1の在院患者37人を観察期間の終わりまで在院していた患者数と考え、全病棟への総到着患者数と全病棟からの総退出患者数は等しい（2,789件）ことが確認できる。

表8: 病棟に到着する患者数

最初から在院	49
院外からの入院	2,155
他病棟からの転入	585
総到着患者数	2,789

表9: 病棟から退出する患者数

最後まで在院	37
院外への退院	2,167
他病棟への転出	585
総退出患者数	2,789

病棟間移動に関して、各病棟で到着患者数と退出患者数が等しいことを表 10 で確認することができる。

表 10: 病棟間移動に関する各病棟での到着患者数と退出患者数の釣り合い

病棟	2010/3/31 の	観察期間内	観察期間内	2012/4/1 の	釣り合い A + B = C + D
	在院患者数 A	到着患者数 B	退出患者数 C	在院患者数 D	
001	0	1	1	0	1
030	0	3	3	0	3
101	0	2	2	0	2
130	0	7	7	0	7
200	2	51	53	0	53
300	0	3	3	0	3
400	1	11	12	0	12
401	0	14	13	1	14
430	0	216	214	2	216
500	16	905	910	11	921
501	0	4	4	0	4
530	0	2	2	0	2
600	28	1,457	1,462	23	1,485
601	0	3	3	0	3
630	1	2	3	0	3
701	0	1	1	0	1
730	0	1	1	0	1
801	1	11	12	0	12
830	0	3	3	0	3
930	0	7	7	0	7
30G	0	36	36	0	36
合計	49	2,740	2,752	37	2,789

5 Patient-Days (PDs) と Length-of-Stay (LoS)

患者が病院に滞在する日数の総和を **Patient-Days**(PD) という。PD は病院が担う仕事量（負荷）である。また、各患者が入院している日数（在院日数）を **Length-of-Stay**(LoS) という。病院全体の PD の内訳を表 11 に計算する。病院全体の平均病棟在院日数を表 12 に計算する。

表 11: 病院全体の Patient-Days

2010/3/31 に在院	2,312
院外からの入院	20,646
院内からの転入	14,017
2012/4/1 に在院	2,130
総 PD	39,105

表 12: 病院全体にわたる平均病棟在院日数

病棟到着患者数	2,789
病棟退出患者数	2,789
総 PD	39,105
平均病棟在院日数	14.021
= 総 PD / 病棟到着患者数	

病院全体で見ると、小児科患者の平均在院日数は 14.02 日（2 週間）であることが分かる。病棟ごとの到着患者数、PD、平均在院日数、及び 1 日当たりの平均在院患者数を表 13 に示す。

表 13: 病棟ごとの到着患者数、PD、平均在院日数、及び平均在院患者数

病棟	(種類)	到着患者数	PD	平均在院日数	平均在院患者数
001		1	1	1.00	0.001
030		3	82	27.33	0.112
101		2	24	12.00	0.033
130		7	40	5.71	0.055
200	(NICU)	53	1,101	20.77	1.502
300	(産科)	3	25	8.33	0.034
400	(HCU)	12	104	8.67	0.142
401		14	223	15.93	0.304
430	(ICU)	216	1,804	8.35	2.461
500	(小児科)	921	12,181	13.23	16.618
501		4	38	9.50	0.052
530		2	15	7.50	0.020
600	(小児科)	1,485	22,365	15.06	30.512
601		3	26	8.67	0.035
630		3	15	5.00	0.020
701		1	128	128.00	0.175
730		1	6	6.00	0.008
801		12	300	25.00	0.409
830		3	24	8.00	0.033
930		7	38	5.43	0.052
30G	(GCU)	36	565	15.69	0.771
合計		2,789	39,105	14.02	53.349

病院全体についても、個々の病棟（の任意のグループ）についても、次の等式が成り立つ。

$$PD = \text{到着患者数} \times \text{平均在院日数} \quad (1)$$

式 (1) は、有限の離散的時間にわたる観察期間における全ての実績データについて成り立つ。この事実は、記録されたデータの検証や集計計算の検算に使うことができる。

一方、1 日当たりに各病棟に在院する小児科患者の平均数は次の式により計算できる。

$$\text{平均在院患者数} = \frac{PD}{733} \quad (2)$$

式 (1) と (2) から

$$\frac{\text{到着患者数}}{733} \times \text{平均在院日数} = \text{平均在院患者数} \quad (3)$$

が成り立つ。ここで、到着患者数/733 は 1 日当たりに病棟に到着する平均患者数（到着率, arrival rate）である。式 (3) は、待ち行列理論の教科書に現れる **Little** の法則 (Little's law) と同じ形をしている。しかし、待ち行列理論の Little の法則は、無限区間の連続的時間にわたる平衡系において成り立つ確率的法則であるのに対し、本論文の式 (3) は単なる恒等式に他ならない。

6 オーダーから在院チャートへ

各患者について、在院中の病棟間移動を第4節に示したようにオーダーを発生日順に並べた表示は、コンピュータ処理には便利であるが、ヒトの目では概容を捉えにくい。そこで、各患者について、観察期間にわたる毎日の在院病棟番号を暦日順に横一行に並べる可視化表示 (visualization) を考えた。

2人の患者の例を示す。

(a) 観察期間内に最初の入院日と最後の退院日がある患者 (表3に同じ)

患者ID (40文字)	発生日	事象	診療科	現病棟	次病棟
021d9cec3...83c496d	2011/1/7	入院	小内	000	500
021d9cec3...83c496d	2011/1/28	転棟	小内	500	430
021d9cec3...83c496d	2011/2/1	転棟	循外	430	500
021d9cec3...83c496d	2011/2/19	退院	小内	500	000

この患者のオーダーは、次のような2行のExcel表に変換することができる (Excelの長い行を折り返してここに示している。□は空白のセルを表す)。

表 14: 観察期間内に最初の入院日と最後の退院日がある患者の在院チャート

1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	...	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30
□	□	500	500	500	...	500	500	430	430	430

1/31	2/1	2/2	2/3	2/4	...	2/17	2/18	2/19	2/20	2/21
430	500	500	500	500	...	500	500	□	□	□

(b) 観察期間内に最初の入院日がなく、最後の退院日がある患者 (表4に同じ)

患者ID (40文字)	発生日	事象	診療科	現病棟	次病棟
14d8ce7e0...e74bed5	2010/4/16	転棟	小内	600	601
14d8ce7e0...e74bed5	2010/4/22	退院	小内	601	000
14d8ce7e0...e74bed5	2010/5/10	入院	小内	000	600
14d8ce7e0...e74bed5	2010/6/22	退院	小内	600	000

この患者のオーダーは、次のような2行のExcel表に変換することができる。

表 15: 観察期間内に最初の入院日がなく、最後の退院日がある患者の在院チャート

3/31	4/1	4/2	...	4/14	4/15	4/16	4/17	...	4/22	4/23
600	600	600	...	600	600	601	601	...	000	000

...	5/8	5/9	5/10	5/11	...	6/20	6/21	6/22	6/23	6/24
...	000	000	600	600	...	600	600	□	□	□

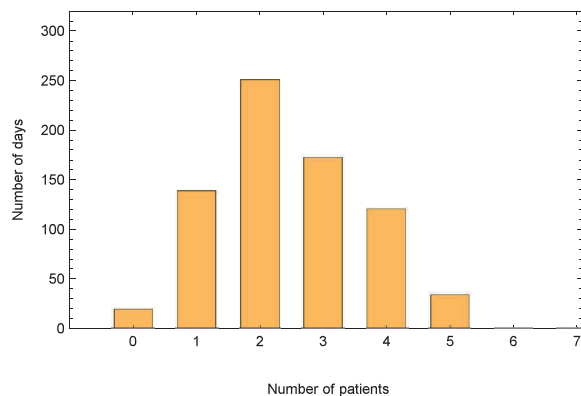
7 病棟に在院する患者数の度数分布

第6節に示した Excel 表を各日付について病棟を条件として縦に（すべての患者について）和を取ることにより、各日付において、各病棟に在院する患者数を算出することができる。このデータは、病院において、深夜に各病棟に在院する患者数を数えること（hospital overnight census）に相当する。観察期間にわたる各病棟の在院患者数の度数分布を表とグラフで示す。

(a) 430 病棟に在院する患者数

表 16: 430 病棟に在院する患者数の度数分布

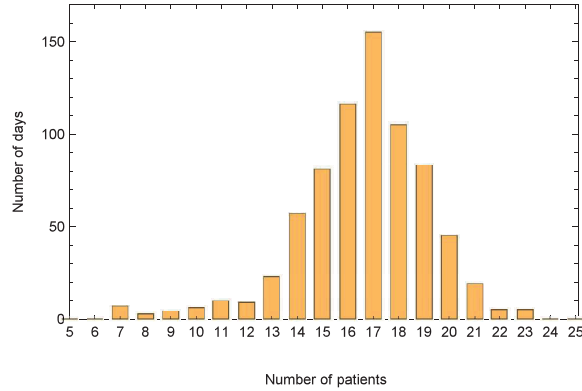
在院患者数	日数	PD	意味
0	19	0	1 人も在院していない日が 19 日
1	138	138	1 人だけ в 院している日が 138 日
2	250	500	2 人在院している日が 250 日
3	172	516	3 人在院している日が 172 日
4	120	480	4 人在院している日が 120 日
5	34	170	5 人在院している日が 34 日
合計	733	1,804	観察期間が 733 日



(b) 500 病棟（24 床）に在院する患者数

表 17: 500 病棟に在院する患者数の度数分布

患者数	日数	PD	患者数	日数	PD
7	7	49	16	116	1,856
8	3	24	17	155	2,635
9	4	36	18	105	1,890
10	6	60	19	83	1,577
11	10	110	20	45	900
12	9	108	21	19	399
13	23	299	22	5	110
14	57	798	23	5	115
15	81	1,215	合計	733	12,181



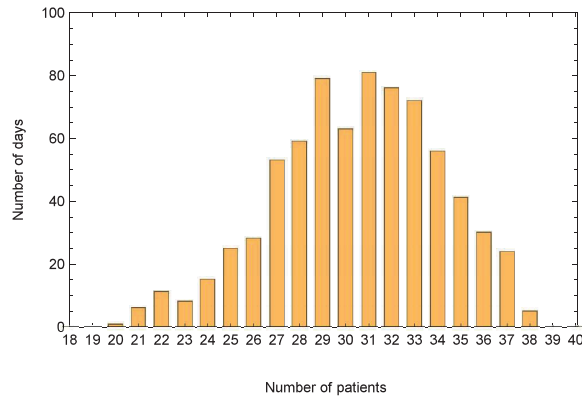
これより、500 病棟の病床使用率 (bed utilization) を次のように計算することができる。

$$\text{病床使用率} = \frac{\text{PD}}{\text{病床数} \times \text{観察日数}} = \frac{12,181}{24 \times 733} = 0.692$$

(c) 600 病棟 (38 床) に在院する患者数

表 18: 600 病棟に在院する患者数の度数分布

患者数	日数	PD	患者数	日数	PD
20	1	20	30	63	1,890
21	6	126	31	81	2,511
22	11	242	32	76	2,432
23	8	184	33	72	2,376
24	15	360	34	56	1,904
25	25	625	35	41	1,435
26	28	728	36	30	1,080
27	53	1,431	37	24	888
28	59	1,652	38	5	190
29	79	2,291	合計	733	22,365



これより、600 病棟の病床使用率を次のように計算することができる。

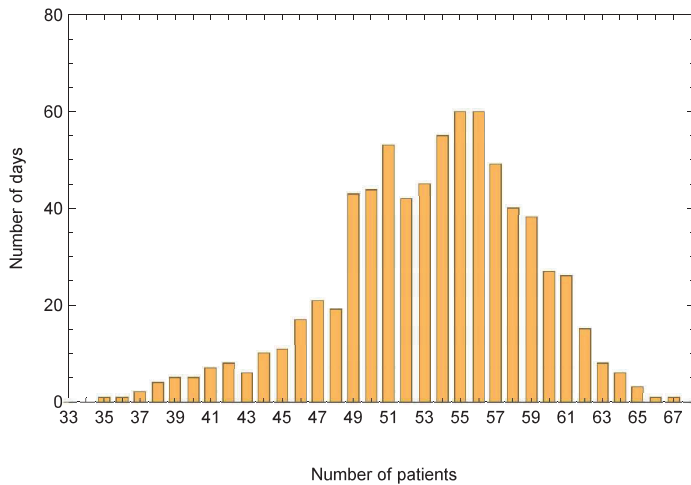
$$\text{病床使用率} = \frac{\text{PD}}{\text{病床数} \times \text{観察日数}} = \frac{22,365}{38 \times 733} = 0.803$$

病床使用率は病院の最も重要な経営指標の 1 つである。病床使用率が高いことは病院の収入が増えることを意味する。しかし、病床使用率が高ければ、入院を必要とする患者に対して、病床を用意できない可能性が高くなり、病院のサービス品質 (Quality of Service, QoS) の低下につながる。病床使用率の水準を決めることは病院経営者の判断である。

(d) 全病棟に在院する患者数

表 19: 全病棟に在院する患者数の度数分布

患者数	日数	PD	患者数	日数	PD	患者数	日数	PD	
35	1	35	46	17	782	57	49	2,793	
36	1	36	47	21	987	58	40	2,320	
37	2	74	48	19	912	59	38	2,242	
38	4	152	49	43	2,107	60	27	1,620	
39	5	195	50	44	2,200	61	26	1,586	
40	5	200	51	53	2,703	62	15	930	
41	7	287	52	42	2,184	63	8	504	
42	8	336	53	45	2,385	64	6	384	
43	6	258	54	55	2,970	65	3	195	
44	10	440	55	60	3,300	66	1	66	
45	11	495	56	60	3,360	67	1	67	
							合計	733	39,105



各病棟及び全病棟について、平均在院患者数は式 (2) で計算され、表 13 に示されている。

8 病棟の患者在院日数の度数分布

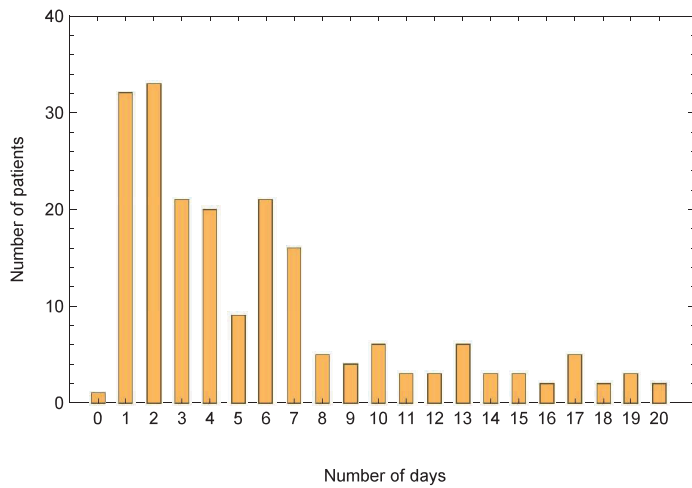
観察期間にわたる各病棟の患者在院日数の度数分布を表とグラフで示す。

(a) 430 病棟の患者在院日数

表 20: 430 病棟の患者在院日数の度数分布

日数	患者数	PD	日数	患者数	PD
0	1	0	11	3	33
1	32	32	12	3	36
2	33	66	13	6	78
3	21	63	14	3	42
4	22	88	15	3	45
5	9	45	16	2	32
6	21	126	17	5	85
7	16	112	18	2	36
8	5	40	19	3	57
9	4	36	20	2	40
10	6	60	21 以上	14	652
			合計	216	1,804

患者の平均在院日数 = $1,804 / 216 = 8.35$ 日

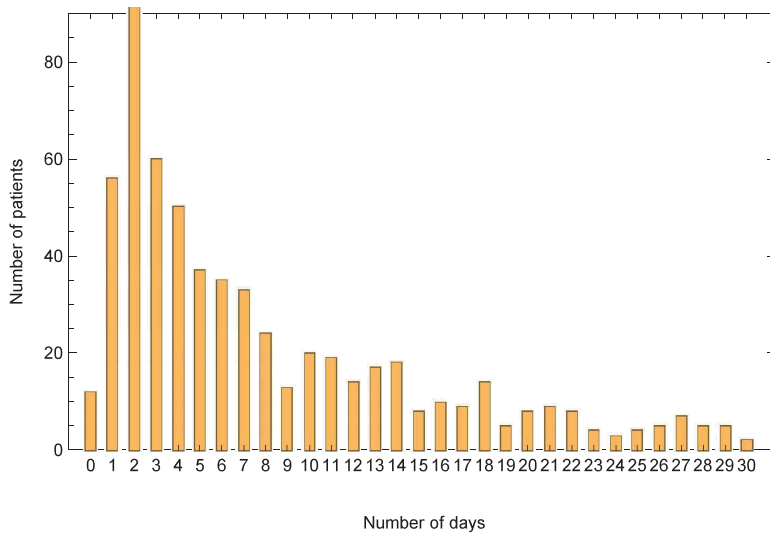


(b) 500 病棟の患者在院日数

表 21: 500 病棟の患者在院日数の度数分布

日数	患者数	PD	日数	患者数	PD	日数	患者数	PD
0	12	0	11	19	209	22	8	176
1	56	56	12	14	168	23	4	92
2	316	632	13	17	221	24	3	72
3	60	180	14	18	252	25	4	100
4	50	200	15	8	120	26	5	130
5	37	185	16	10	160	27	7	189
6	35	210	17	9	153	28	5	140
7	33	231	18	14	252	29	5	145
8	24	192	19	5	95	30	2	60
9	13	117	20	8	160	31 以上	91	6,895
10	20	200	21	9	189	合計	921	12,181

患者の平均在院日数 = $12,181 / 921 = 13.23$ 日

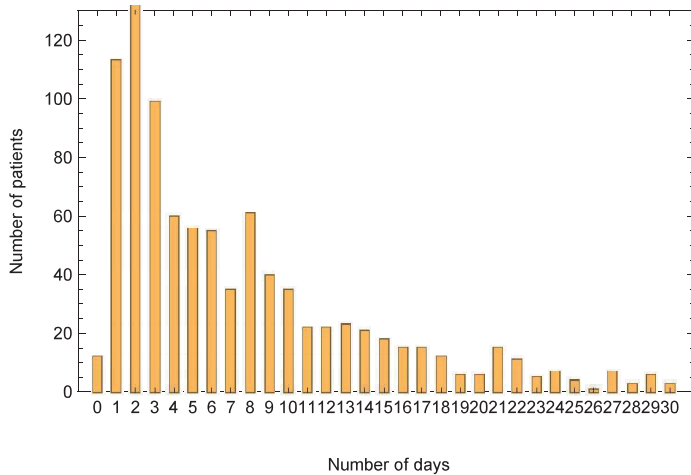


(c) 600 病棟の患者在院日数

表 22: 600 病棟の患者在院日数の度数分布

日数	患者数	PD	日数	患者数	PD	日数	患者数	PD
0	12	0	11	22	242	22	11	242
1	113	113	12	22	264	23	5	115
2	525	1,050	13	23	299	24	7	168
3	99	297	14	21	294	25	4	100
4	60	240	15	18	270	26	1	26
5	56	280	16	15	240	27	7	189
6	55	330	17	15	255	28	3	84
7	35	245	18	12	216	29	6	174
8	61	488	19	6	114	30	3	90
9	40	360	20	6	120	31 以上	172	14,795
10	35	350	21	15	315	合計	1,485	22,365

患者の平均在院日数 = $22,365 / 1,485 = 15.06$ 日



参考文献

- [1] Hideaki Takagi, Yuta Kanai, and Kazuo Misue, “Queueing Network Model for Obstetric Patient Flow in a Hospital,” *Health Care Management Science*, Vol.20, No.3, pp.433–451, September 2017 (Published online: 03 March 2016). <http://dx.doi.org/10.1007/s10729-016-9363-5>
- [2] Yuta Kanai and Hideaki Takagi, “Markov Chain Analysis for the Neonatal Inpatient Flow in a Hospital,” *Health Care Management Science*, Vol.24, No.1, pp.92–116, June 08, 2021 (Published online: 30 September 2020). <https://doi.org/10.1007/s10729-020-09515-3>