

山口大学大学院東アジア研究科

博士論文

東洋医学における人体のペトリネットモデルの構築  
に関する研究

2022年3月

甘泉

## 要 旨

学位論文題目：東洋医学における人体のペトリネットモデルの構築に関する研究

指導教員：葛 崎偉

申請者名：甘 泉（カン セン）

2019年4月入学

山口大学大学院 東アジア研究科 博士課程

東洋医学とは古代中国から始まり、日本や韓国を中心に世界の国々に伝わって発展してきた医学である。東洋医学における人体は、主に五臓六腑、経脈、経穴、気・血・津液から構成されている。五臓六腑とは東洋医学において、人体の内臓全体を指すときに用いられる表現であり、具体的に五臓は肝・心・脾・肺・腎を指し、六腑は胆・小腸・胃・大腸・膀胱・三焦を指す。経脈とは身体を縦に流れる脈であり、気と血の通路の役割を果たすものである。気・血・津液は生きるために必要なものであり、いわゆる代謝物質である。また、経穴は基本的に経脈に位置付けられており、人体の表面に存在している。

鍼灸治療は、東洋医学の治療法の1つであり、鍼または灸で経穴を刺激することによって、その刺激が経脈に伝わり、体内の気・血・津液が改善され、その結果、五臓六腑の機能が活性化される。鍼灸治療は、副作用が少なく、病気の予防や難病の治療などにも有効であることから、WHOに認められ、今や世界中に広まっている。しかしながら、鍼灸治療は未だ経験的・臨床的に行われることが多く、治療の仕組みや過程が科学的に解明されていない部分が多い。そのため、現代の西洋医学や科学技術的な観点も取入れた客観的・統一的なアプローチが求められている。

国内外において、東洋医学に関する人体のモデル化や解析等の研究は、五臓六腑あるいは経脈の一方のみを取り上げて行われており、五臓六腑、経脈、経穴、気・血・津液のすべてを含んだ人体モデルの研究がなされていない。また、鍼灸治療のシミュレーションやシミュレーションによる検証といった研究も行われていない。

一方、ペトリネットはシステムの静的構造の表現と動的挙動の解析・シミュレーションが可能なモデリングツールであり、生命システムのモデル化や解析においても数多く応用され効果を上げている。ペトリネットを用いれば、東洋医学の五臓六腑、経脈、経穴、気・血・津液を含んだ人体のモデル化と鍼灸治療のシミュレーションが可能になる。

そこで、本論文では、システムの構造と動作の両方を表現・解析・シミュレーションすることができるペトリネットを用いて、五臓六腑のモデルをベースに、経脈、経穴および気・血・津液を加えていくように東洋医学の人体モデルを構築する手法を提案した。また、構築された人体モデルを用いた鍼灸治療のシミュレーション結果、および、臨床結果との比較によるモデルの妥当性検証の結果を示した。

具体的に、まず、先行研究を踏まえた上で、五臓六腑間の相互関係に基づいた五臓六腑のモデルを構築した。次に、経脈と経穴のモデルを構築し、それを五臓六腑のモデルに加えた。さらに、臓腑の働きによる気・血・津液の生成や流れを分析し、その分析結果に基づいた気・血・津液のモデルを構築した上で、東洋医学の全体の人体モデルを完成させた。

モデルの妥当性を検証するために、提案したモデルを用いて、以下の3つの観点に基づき、鍼灸治療のシミュレーションを行った。

1つ目は、臨床で有効と検証された計17の症例に基づいて行った鍼灸治療のシミュレーション結果と文献に記載された臨床結果と一致しているかどうか。

2つ目は、文献に記載された経穴を除いてランダムに選ばれた経穴を刺激した鍼灸治療のシミュレーション結果と文献に記載された臨床結果と一致しているかどうか。

3つ目は、他の臓腑との関係が判明されていない三焦を除いた人体モデルを用いて、臨床で有効と検証された症例に基づいて行った鍼灸治療のシミュレーション結果と文献に記載された臨床結果と一致しているかどうか。

最後に、シミュレーションの結果から、以下のことが明らかになった。

(1) 文献に示されている経穴を用いた鍼灸治療のシミュレーション結果から、五臓六腑はやがて健康状態に回復されたとの結論を得た。その結果より、シミュレーション結果と文献記載の臨床結果と一致していることが確認できた。

(2) 文献記載の経穴を除き、ランダムに選んだ経穴を用いた鍼灸治療のシミュレーション結果から、五臓六腑が健康状態に回復できないことが分かった。その結果より、文献記載以外の経穴では、臨床結果と一致することにならないことが確認できた。

(3) 三焦を除いた人体モデルを用いて行った鍼灸治療のシミュレーション結果から、五臓六腑は健康状態に回復できないことが分かった。その結果より、三焦を除いたモデルでは文献記載の臨床結果と一致することにならないことが確認できた。(1) と合わせていえば、三焦に関するモデルの構築法は妥当であることがいえる。

以上の(1)~(3)より、本論文で提案した東洋医学の人体モデルは、臨床結果と一致するシミュレーション結果が得られることで、その構築法が妥当であり、構築されたモデルが有用である。

本論文で提案した人体モデルはペトリネットを用いることで、東洋医学における人体内部の相互関係を視覚的に表現できる。また、鍼灸治療のシミュレーションが可能となり、そのシミュレーションによって、治療現場で観測できない臓腑状態の変化過程を示すことができる。

本論文は、東洋医学の諸説を基に、情報科学・情報技術に基づいて、経験的・臨床的に行われ、かつ定性的な説明しかできていない東洋医学の鍼灸治療の仕組みの解明に対する新しいアプローチを提供するものである。その成果は、人体の仕組みの解明にも、新たな鍼灸治療法の発見にもつながるものである。



## 謝 辞

博士論文を上梓するにあたり、ご指導・ご支援をいただいた多くの方々に、この場をお借りして感謝の意を申し上げます。

山口大学大学院東アジア研究科の葛 崎偉教授には、指導教員として情報科学分野で初学者である筆者を受け入れていただき、心より感謝を申し上げます。情報科学の基礎的知識に始まり、研究手法、学会発表など、研究に関するあらゆることを教えていただきました。博士論文の完成まで、何度となく障壁に直面したものの、最後までやり遂げることができたのは、ひとえに葛 崎偉教授のご指導・ご支援のおかげです。葛 崎偉教授には、さまざまな面で厳しくも温かく見守っていただき、ここに深謝の意を表します。

山口大学理学部野崎 浩二教授には、未熟な筆者を山口大学の研究生として受け入れていただき、長きわたりお世話になりました。ここに深く感謝いたします。

山口大学大学院東アジア研究科中田 充教授、北沢 千里准教授には、副指導教員として、学術誌論文・学位論文の細部にわたり貴重なご意見・ご指摘と、論文執筆についての激励をいただきましたことをここに記すとともに、心より感謝申し上げます。

本論文を提出するにあたり、論文審査の労を引き受けてくださった山口大学大学院東アジア研究科鷹岡 亮教授、中田 充教授、北沢 千里准教授には、多くの大変有益なコメントをいただき、本論文をより磨き上げることができたと感じております。厚く御礼申し上げます。また、山口大学大学院創成科学研究科山口 真悟教授には、外部審査委員を引き受けていただきまして、貴重なご助言をくださって、心より厚くお礼申し上げます。山口大学東アジア研究科の先生方にも、多大なるご指導をいただきました。ここに深い感謝の意を申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、JSPS 科研費（基盤研究 (B)）20H04284、山口大学基金局「若手研究者による研究プロジェクトに対する助成事業」（2020 年 4 月～2021 年 3 月）、および、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2111（2021 年 10 月～2022 年 3 月）より支援をいただきました。ここに感謝の意を表します。また、留学生生活を経済的にサポートしてく

くださった公益財団法人ロータリー米山記念奨学会，防府ロータリークラブ，ロータリー米山奨学生カウンセラーの田中 信治氏にもこの場をお借りして深くお礼申し上げます。

また，6年の間共に励まし合い，研究をするということに対して，何度も相談に乗ってくださった呉 彪博士（2021年3月修了），安 振宇氏，楊 航氏，また多くの葛研究室の仲間にも，心からの感謝を伝えたいと思います。シン・文殊グループ（グループ8）皆様には，他分野立場から様々な助言をいただきまして，感謝の気持ちを申し上げます。

さらに，遅々として研究が進まず落ち込みがちな筆者を支えてくれた歌手の周杰倫（Jay Chou）氏にも，ありがとうございます。

最後に，筆者の博士課程への進学希望を温かく応援してくれた家族・友人にも，心から感謝の気持ちを伝えておきたいです。

ここに記しきれない多くの方々のご支援・ご協力によって，本研究が成立していることに，改めて厚く御礼申し上げます。

皆様，ありがとうございました。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景と研究目的	1
1.2	本論文の構成と位置付け	3
<b>第2章</b>	<b>研究に関する準備</b>	<b>5</b>
2.1	東洋医学における鍼灸治療	5
2.1.1	鍼灸治療の背景	5
2.1.2	鍼灸治療とは	6
2.1.3	五臓六腑	9
2.1.4	経脈と経穴	12
2.1.5	気・血・津液	14
2.2	ペトリネット・カラーペトリネット	15
2.2.1	ペトリネット	15
2.2.2	カラーペトリネット	17
2.2.3	CPN Tools とその使用	18
<b>第3章</b>	<b>五臓六腑モデルの提案</b>	<b>24</b>
3.1	臓腑状態値の推定	25
3.2	臓腑単体モデルの提案	27
3.3	臓腑関係モデルの提案	28
3.4	臓腑結合モデルへの相生相克関係の追加	29
3.5	三焦について	31

<b>第 4 章</b>	<b>経脈と経穴を加えたモデルの提案</b>	<b>33</b>
4.1	経穴の効能と鍼灸手技 . . . . .	34
4.2	経穴の効能による臓腑状態値への影響 . . . . .	37
4.3	経脈と経穴を含むモデルの提案 . . . . .	38
4.4	五臓六腑と経脈・経穴のモデルの構築 . . . . .	41
<b>第 5 章</b>	<b>気・血・津液を加えたモデルの提案</b>	<b>45</b>
5.1	気・血・津液と三焦 . . . . .	46
5.2	気・血・津液の量および臓腑状態値の推定 . . . . .	47
5.3	モデル構築法の提案 . . . . .	49
5.4	気・血・津液を加えた人体モデル . . . . .	55
<b>第 6 章</b>	<b>鍼灸治療のシミュレーションとその結果</b>	<b>60</b>
6.1	シミュレーションモデルの構築 . . . . .	61
6.1.1	補助要素の追加による計算順の把握 . . . . .	61
6.1.2	CPN モデル構造の変更 . . . . .	64
6.2	鍼灸治療のシミュレーション実験 . . . . .	65
6.2.1	シミュレーションモデル中のパラメータの設定 . . . . .	65
6.2.2	シミュレーションケース . . . . .	66
6.2.3	シミュレーション結果 . . . . .	73
<b>第 7 章</b>	<b>おわりに</b>	<b>88</b>

# 目次

2.1	経穴の刺激による気と血の流れが改善 [1]	7
2.2	五臓の相生相克関係	10
2.3	PN の例	16
2.4	CPN Tools を用いた CPN の表現例 (方法 i)	20
2.5	CPN Tools を用いた CPN の表現例 (方法 ii)	20
2.6	図 2.4 におけるトランジション $t$ 発火後の表現	21
2.7	図 2.5 におけるトランジション $t$ 発火後の表現	21
2.8	階層化前	22
2.9	階層化後	22
2.10	CPN Tools による図 2.8 のシミュレーション例	23
2.11	CPN Tools による図 2.8 のシミュレーション結果レポート	23
3.1	臓腑の状態を表す五段階	26
3.2	相生と相克の表現	26
3.3	表裏関係の表現	26
3.4	心の臓腑単体モデル	27
3.5	臓(心)と腑(小腸)の結合モデル	28
3.6	相生相克関係を加えたモデル	30
3.7	五臓五腑モデル	31
3.8	五臓六腑モデル	32
4.1	経穴の刺激量を表す五段階	35

4.2	「虚実補瀉」の対応図 . . . . .	35
4.3	手技による経穴の効能の決定 . . . . .	37
4.4	経穴の効能が臓腑への影響 . . . . .	37
4.5	経穴を表すモデルの構造 . . . . .	39
4.6	五臓六腑と心包経のモデル . . . . .	40
4.7	五臓六腑と経脈・経穴のモデルの構想図 . . . . .	41
4.8	五臓六腑と心包経のモデル（階層化後） . . . . .	42
4.9	構築した経脈・経穴とインターフェース . . . . .	43
4.10	五臓六腑と経脈・経穴モデル . . . . .	44
5.1	気・血・津液の量を表す三段階 . . . . .	47
5.2	気の化生 . . . . .	50
5.3	臓腑まで気の輸送 . . . . .	51
5.4	臓腑の新陳代謝 . . . . .	53
5.5	気・血・津液および臓腑の新陳代謝のモデル . . . . .	54
5.6	気・血・津液および臓腑の新陳代謝を加えた五臓六腑のモデル（階層化前） . . . . .	56
5.7	気・血・津液および臓腑の新陳代謝を加えた五臓六腑のモデル（階層化後） . . . . .	57
5.8	人体モデル（階層化前） . . . . .	58
5.9	人体モデル（階層化後） . . . . .	59
6.1	計算順を守るための補助要素の追加方法 . . . . .	62
6.2	CPNモデルの構造変更前（左）後（右） . . . . .	64
6.3	シミュレーションレポートによる整理した Excel 表の一部（Case 1 の場合） . . . . .	73
6.4	シミュレーション結果 - Case 1 . . . . .	74
6.5	シミュレーション結果 - Case 2 . . . . .	74
6.6	シミュレーション結果 - Case 3 . . . . .	74
6.7	シミュレーション結果 - Case 4 . . . . .	76

6.8	シミュレーション結果 - Case 5 . . . . .	76
6.9	シミュレーション結果 - Case 6 . . . . .	76
6.10	シミュレーション結果 - Case 7 . . . . .	78
6.11	シミュレーション結果 - Case 8 . . . . .	78
6.12	シミュレーション結果 - Case 9 . . . . .	78
6.13	シミュレーション結果 - Case 10 . . . . .	80
6.14	シミュレーション結果 - Case 11 . . . . .	80
6.15	シミュレーション結果 - Case 12 . . . . .	80
6.16	シミュレーション結果 - Case 13 . . . . .	82
6.17	シミュレーション結果 - Case 14 . . . . .	82
6.18	シミュレーション結果 - Case 15 . . . . .	82
6.19	シミュレーション結果 - Case 16 . . . . .	84
6.20	シミュレーション結果 - Case 17 . . . . .	84
6.21	シミュレーション結果 - Case 18 . . . . .	84
6.22	シミュレーション結果 - Case 19 . . . . .	86

# 表 目 次

2.1	刺激の量と手技との関係 . . . . .	8
2.2	補瀉と手技との関係 . . . . .	8
2.3	経脈と経穴の WHO 記号 . . . . .	13
4.1	経穴—臓腑の関係（心包経の経穴の部分） . . . . .	36
5.1	気・血・津液の化生・輸送と五臓六腑の関係 . . . . .	47
6.1	図 6.1 の補助要素のアーキ . . . . .	63
6.2	図 6.1 の発火順番 . . . . .	63
6.3	鍼灸治療の症例_その 1 . . . . .	67
6.4	鍼灸治療の病例_その 2 . . . . .	68
6.5	鍼灸治療の病例_その 3 . . . . .	69
6.6	シミュレーションケース_その 1 . . . . .	70
6.7	シミュレーションケース_その 2 . . . . .	71
6.8	シミュレーションケース_その 3 . . . . .	72



# 第1章 はじめに

## 1.1 研究背景と研究目的

東洋医学とは古代中国から始まり、日本や韓国を中心に世界の国々に伝わって発展してきた医学である。東洋医学における人体は、主に五臓六腑、経脈、経穴、気・血・津液から構成されている。五臓六腑とは東洋医学において、人体の内臓全体を指すときに用いられる表現であり、具体的に五臓は肝・心・脾・肺・腎を指し、六腑は胆・小腸・胃・大腸・膀胱・三焦を指す。経脈とは身体を縦に流れる脈であり、気と血の通路の役割を果たすものである。気・血・津液は生きるために必要なものであり、いわゆる代謝物質である。また、経穴は基本的に経脈に位置付けられており、人体の表面に存在している [1, 2].

鍼灸治療は、東洋医学の治療法の1つであり、鍼または灸で経穴を刺激することによって、その刺激が経脈に伝わり、体内の気・血・津液が改善され、その結果、五臓六腑の機能が活性化される。鍼灸治療は、副作用が少なく、病気の予防や難病の治療などにも有効であることから、WHO (World Health Organization, 世界保健機関) に認められ、今や世界中に広まっている。しかしながら、鍼灸治療は未だ経験的・臨床的に行われることが多く、治療の仕組みや過程が科学的に解明されていない部分が多い。そのため、現代の西洋医学や科学技術的な観点も取入れた客観的・統一的なアプローチが求められている [3, 4].

一方、ペトリネット (以降, PN) は、1962年に C.A. Petri によって発表された数学的なモデル化ツールであり、様々なシステムの表現・解析に用いられている。PN は、並行的・非同期的・分散的・並列的・非決定的な動作を特徴とする情報処理システムを記述・研究することができる。数学的なツールとして、システムの挙動を表現する方程式を立てることが可能である [5, 6]. しかしながら、PN のデメリットは、非常に複雑な離散事象システム (例えば、フレキ

シブル生産システムなど) をモデル化し, 得られるネットのサイズが膨大になる点である. このような PN のデメリットを解消するため, カラーペトリネット (以降, CPN) が導入されている. CPN は PN の多くの利点をそのまま保持している [7, 8].

現在, 世界では, 東洋医学における人体について, いくつかの研究が行われている. Li らは, 五行説の定量的解析の研究についてサーベイを行っている [9]. Sun らは, 五臓の生理的平衡状態に着目し, 五行説の基本理論とファジィシステム理論を融合したファジィモデルを作っている [10]. Guo らは, 数学的な手法を用いて, 五行説を解くことを目的として, 五臓システムの進化法則に基づいて定量的に測るモデルを作っている [11]. Heng らは, 仮想現実技術を利用して, 鍼灸治療のトレーニングのためのインテリジェント仮想環境を提案し, 伝統的な東洋医学における学習仮想人体モデルの完全なセットを開発している [12]. Pan と Zhou は, PN を利用して, 経脈のモデル化を行っている [13]. Li らは, 東洋医学の考え方を取り入れた症状に基づく健康診断項目の推定という健康管理支援ツールを開発している [14]. Heng らは, 鍼灸治療の専門学校における鍼灸治療の学習と練習に向け, 3D インタラクティブ仮想患者の触覚針操作シミュレータを開発している [15]. Lan らは, ロボットアームを駆動することにより, 症状の軽減を目的として, 経穴のローカリゼーション方法を開発している [16, 17]. Li らは, 経脈に関するビッグデータ分析に基づき, 健康管理および評価システムを開発している [18]. Lee らは, 経脈システムを理解し, 鍼灸治療の有効性を明らかにするために, 経脈に関する生物医学情報のデータ駆動型 3D 経脈システムを視覚化するモデルを提案している [19].

しかし, これまでの先行研究 [9]-[19] は, 五臓六腑のみ, あるいは経脈のみに注目しており, これらを結びつけるモデルは存在していない. 鍼灸治療の既知の治療法の検証や新たな治療法を発見するためには, 五臓六腑間の関係や経脈・経穴などをまとめて扱える新しい人体モデルが必要である. 本論文では, システムの構造と動作の両方を表現・解析・シミュレーションすることができる PN を用いて, 五臓六腑のモデルをベースに, 経脈, 経穴および気・血・津液を加えていくように東洋医学の人体モデルを構築する手法を提案する. また, 構築された人体モデルを用いた鍼灸治療のシミュレーション結果, および, 臨床結果との比較によるモデルの妥当性検証の結果を示す.

## 1.2 本論文の構成と位置付け

本論文の構成は以下のようになっている。

第 2 章では、東洋医学における鍼灸治療が発展してきた背景と現状を紹介し、東洋医学における人体の五臓六腑、経脈、経穴、気・血・津液の概念を具体的に説明する。また、本論文で用いるモデリングツールである PN と CPN を導入し、CPN のシミュレーションツールである CPN Tools の使用方法を述べる。

第 3 章では、東洋医学における人体の主要な構成部分である五臓（肝、心、脾、肺、腎）五腑（胆、小腸、胃、大腸、膀胱）について、先行研究を踏まえつつ、五臓六腑のモデルを提案する。まずは、1 つの臓または腑を表す臓腑単体モデルを示す。次に、具体的な臓腑に対応しない三焦を除いた五臓五腑について、東洋医学の五行説と臓腑表裏関係に基づいてそのモデルを構築する。その後、三焦を扱うペトリネットモデルを追加することで、五臓六腑のペトリネットモデルを構築する。

第 4 章では、鍼灸治療の施術方法である手技、および、治療原則である虚実補瀉に基づいて、人体の経脈・経穴をモデル化して、第 3 章で構築した五臓六腑モデルに追加するように、五臓六腑と経脈・経穴のモデルの構築法を提案する。まずは、単一経穴の効能を表す数式を提案し、単一経穴と単体臓腑を結合させたモデルを構築する。次に、1 本の経脈に属する経穴のモデルを構築した上で、全ての経脈を表した経脈・経穴のモデルを構築する。最後に、五臓六腑と経脈・経穴を結合させるインターフェースを組み入れ、五臓六腑と経脈・経穴の結合モデルを構築する。

第 5 章では、その他の人体構成要素である気・血・津液を加えたモデルの構築法を提案する。まず、気・血・津液と五臓六腑の関係を示し、「化生」・「輸送」と「臓腑の新陳代謝」を表す数式を与えた上で、これらの構成要素を表したモデルの構築法を示す。次に、構築した気・血・津液のモデルを五臓六腑と経脈・経穴のモデルに加えて、人体全体のモデルを構築する。最後に、CPN Tools の階層化機能を用いて、全体的に見やすく、かつシミュレーションのできる東洋医学の人体モデルを完成させる。

第 6 章では、完成した人体モデルを用いた鍼灸治療のシミュレーションの結果を示す。文献記載通りの鍼灸治療のシミュレーションでは臨床結果と一致し、経穴をランダムに選んだ時のシミュレーションでは一致しないことから、構築した人体モデルが妥当であると結論づける。

第 7 章では、本論文で得られた研究成果をまとめた上で、その研究成果の応用に関する今後の展望および研究をさらに発展させるための課題を述べる。

鍼灸治療に関する国内外の研究は、「臨床研究」、「教育研究」、「基礎研究と支援ツール開発」、に分類されている。この内、「臨床研究」は、鍼灸の治療効果を評価するという古くからある研究であり、近年欧米諸国で EBM (Evidence-Based Medicine, 科学的根拠に基づく医療) に則った研究が多く行われている。「教育研究」は、教育や訓練用のモデルやシステム等の開発である。本論文は、「基礎研究と支援ツール開発」に関わるものである。これは人体の五臓六腑と経脈・経穴を含む人体モデルの構築法を提案することにより、客観的・統一的な鍼灸治療を促進させ、長寿社会における人々の健康増進の一助するものとする。

本論文では、システムの静的構造と動的挙動の両方を表現・シミュレーションできる生命システムのモデル化や解析に広く応用されているツールである PN と、複雑に絡み合う臓腑や経脈等を扱う東洋医学との融合を試みる。東洋医学における人体の五臓六腑と経脈を CPN でモデル化することで、結果として、複雑な臓腑関係や経脈などを図式化でき、絡み合う関係を数値的に表現することができる。また、臓腑と経脈の動的挙動のシミュレーションも可能となる。

本論文が試みたことは、鍼灸治療の研究分野において、世界で初めての取り組みであり、これは鍼灸治療検証法の確立や新たな鍼灸治療法の発見にもつながるはずである。

## 第2章 研究に関する準備

### 2.1 東洋医学における鍼灸治療

#### 2.1.1 鍼灸治療の背景

東洋医学の発祥は、おおよそ 2000 年前の黄河流域の中国文明にまで遡る。その治療法は、漢方と鍼灸に大別される。東洋医学が日本に伝播されたのは、中国から朝鮮半島を経たといわれ、6 世紀半ばのことである。701 年の大宝律令の制定以降、明治 7 年の「医制」が公布されるまで、鍼灸は日本の医学の一翼を担い続けた。江戸時代になると、鍼灸治療に関する専門書が多く発刊され、国民に親しまれた。こうした東洋医学、特に鍼灸治療は、日本においても伝統的な治療法として発展し、長年にわたり人々に親しまれ、国民の健康保持・増進や疾病の治療に寄与してきた。しかしながら、明治維新を迎え、医学の主流はドイツ医学やオランダ医学を中心とする西洋医学となり、東洋医学は医学の主流から遠ざかった [2, 20]。

1971 年に、中国で鍼麻醉が報道されて以降 [21]、人々の鍼灸治療への関心は一層高まり、鍼灸治療を中心とした基礎・臨床研究は世界各国で盛んに行われるようになった。1996 年に、WHO は鍼灸治療が可能な 37 の適応疾患を発表した。さらに、1997 年に、NIH (National Institutes of Health, アメリカ国立衛生研究所) は、鍼灸治療の有効性、安全性、研究方法論、保健医療体系に組み入れるに関する合意形成声明を発表してから、欧米各国において鍼灸治療に対する関心が増大した。そして、診療や研究が盛んになり、質の高い論文も発表されるようになってきた [4, 20]。

現在、出生率が低い国では、妊婦や高齢者の中で副作用や体への負担が少ない鍼灸治療を受ける者が増加している [22, 23]。また、西洋医学でも難病とされる癌に対して、鍼灸治療が緩

和ケアや延命などに有効である可能性があり、癌のあらゆるレベルに対して鍼灸治療の適用と可能性を真剣に検討する時代が来たと考えられている [24]。西洋医学の限界を感じつつある多くの国では、医療が大きく変わろうとする中、西洋医学の治療に東洋医学の治療を中心とした伝統医療を組み入れ、患者にとってより質の高い、満足度の高い医療サービスを提供することを目的として、統合医療の概念が確立されようとしていることが現状である [20, 25]。

東洋医学の歴史を有するアジア諸国では、現在、西洋医学と東洋医学の二本立ての体制で、東洋医学も正規の医療として医療政策に取り込まれている。正規の医師として、近代西洋医学の医師と東洋医学の医師が共存する医療体系である。また、各国の政府機関の中に東洋医学の担当部局が設置されており、国立の研究機関や病院も設立され、伝統医学専門大学や欧米の大学や研究機関と連携して研究活動を行っている [4, 26]。

### 2.1.2 鍼灸治療とは

鍼灸治療は、図 2.1 に示しているように、鍼や灸などからの刺激を経脈に伝えることで、体内の気や血の流れが改善し、五臓六腑の機能が活性化され、病気が治る治療法である [1, 27, 28]。

鍼灸治療には鍼治療と灸治療がある。鍼治療は、一定の方式に従って、身体の特定の点を刺激するために専用の鍼を生体に刺入または接触する治療法である [29]。灸治療は、皮膚上で部位を選択して、艾（もぐさ）を燃焼させることによって病気の予防または治療をすることである [30]。鍼治療・灸治療は、体に一定の刺激を与えることにより、生じる効果的な反応を利用して、体の変調を矯正し、病気の予防または治療をすることである [29, 31]。

東洋医学では、「虚実補瀉（きょじつほしゃ）」という重要な治療原則がある。「虚（きょ）」とは、人体に必要なものが不足していることで変調を来していることである。「実（じつ）」とは、身体に不必要なものがあるため亢進状態になっていることである [32, 33, 34]。『中蔵経（ちゅうぞうけい）』には、「虚したるものはこれを補い、実したるはこれを瀉す」と記載されており、「虚」に対する治療法は「補」であり、「実」に対する治療法は「瀉」であると指摘されている。「補（ほ）」（補法治療）とは、足りないものを補うことであり、「瀉（しゃ）」（瀉法治療）とは、余分なものを取り除くことである。即ち、補法も瀉法もその目的は、病気を治し、人体を健康

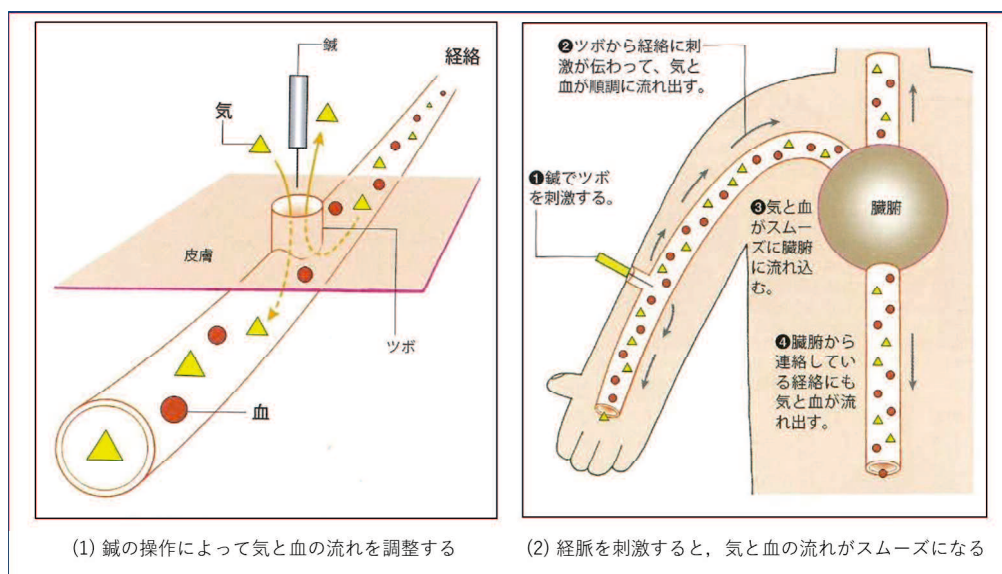


図 2.1: 経穴の刺激による気と血の流れが改善 [1]

な状態に回復させることである [35]。東洋医学における鍼灸治療と漢方薬の処方は、虚実補瀉の原則に基づき、古くから発展してきた。『中蔵経』だけではなく、中国古代の東洋医学文献である『難経（なんぎょう）』([36]) や『金匱要略（きんきようりやく）』([37]) や『傷寒雑病論（しょうかんざつびょうろん）』([38]) などこの原則に従っている。

鍼灸治療における補法治療（または瀉法治療）は、鍼の刺し方や刺入の角度など（東洋医学では「手技（しゅぎ）」と呼ぶ）によって達成される。治療師は適切な手技を用いて、補法（または瀉法）を実施し、患者に適切な刺激量を与える [29, 33]。本論文では、文献 [29, 39, 40] によって、表 2.1 に刺激の量と手技の関係、表 2.2 に補瀉と手技の関係、をまとめた。

表 2.1: 刺激の量と手技との関係

条件	強い刺激	弱い刺激
鍼の長さ	長い	短い
鍼の太さ	太い	細い
刺入又は抜去の速度	急	緩
刺激時間	長時間	短時間
鍼の動揺	大きい	小さい
艾柱の大きさ	大きい	小さい
艾柱の捻り	硬い	柔らかい
艾柱の壮数	多い	少ない

表 2.2: 補瀉と手技との関係

手技	補	瀉
寒熱	鍼を温めて用いると刺入した鍼下の部が熱する	鍼をそのまま用いると刺入した鍼下の部が寒する
迎随	経絡の流注に随って（沿って）刺す	経絡の流注に逆らって（迎えて）刺す
徐疾（出内、遅速）	徐々に刺痛なく（無痛）に刺入し置鍼してから徐々に抜鍼する	痛みがあっても速刺速抜で疾く刺入し疾く抜鍼する
呼吸	呼気時に刺し、吸気時に抜く。	吸気時に刺し、呼気時に抜く
提按（開闔）	経穴の上をよく按じて刺鍼し、抜鍼後は直ちに鍼孔部を閉じる	抜鍼後も鍼孔部を閉じない
搖動	鍼を刺入し刺手を震わせて気を促し穴所を軽く弾き、刺入した鍼に軽く振動を与える	鍼を刺入し押手を搖るがせて気を泄らせて穴所を弾くことなく、そのまま刺鍼する
搓転（左右）	鍼を捻るのに患側の左側では右回転、右側では左回転	鍼を捻るのに患側の右側では右回転、左側では左回転
用鍼	細い鍼を用いる	太い鍼を用いる
深さ	浅く入れて後に深くする	深く入れて後に浅くする



### 2.1.3 五臓六腑

東洋医学における人体の内臓は五臓六腑と呼ばれている。五臓は、肝・心・脾・肺・腎を指し、六腑は胆・小腸・胃・大腸・膀胱・三焦を指す。東洋医学の臓腑は、単なる臓腑そのものを指すことではなく、臓腑の働きによって生じる様々な現象も含んでいる。五臓は、飲食物の栄養物質から、人体の代謝物質である気・血・津液をつくり、またそれらを貯蔵する袋状の器官とされる。六腑は、飲食物が次々と送られていく 1 本の消化管とされる [1, 31].

東洋医学における五臓六腑は、以下に示すそれぞれの機能を持つと考えられている [27].

- 肝は、血を貯蔵し、全身への配分を決定する。全身の気の働きを調節する。
- 心は、全身に血を送り、精神や意識も司る。
- 脾は、消化・吸収をする。栄養分と水分を全身に送る。栄養分や臓腑を持ちあげる。
- 肺は、呼吸をする。全身の水分の巡りを調節する。気や津液などを押しあげる、押しさげる。
- 腎は、精を貯蔵し、必要に応じて配分する。水分の代謝を調節する。肺が吸い込んだ気を、腎まで下げる。
- 胆は、胆汁を貯蔵し、必要があれば排出して消化を助ける。
- 小腸は、胃から送られてきた飲食物を栄養分と不要物に分ける。
- 胃は、飲食物をざっと消化する。脾の働きを助けて消化・吸収を調整する。
- 大腸は、小腸から送られてきた不要物から水分を吸収して、大便を排泄する。
- 膀胱は、腎から送られてきた水分（尿）を貯めておき、腎の決定に従って排泄する。

三焦は、特別な腑であり、詳細は後述する。

五臓の間には、五行説の関係がある。五行説とは、五臓の肝・心・脾・肺・腎を木（もく）・火（か）・土（ど）・金（きん）・水（すい）に対応付け、相生相克の影響を有するというものである [1, 31]. それぞれの対応理由は以下のように考えられている [1].

- 肝は、木が伸びていくように、気を身にのびやかに巡らせる。
- 心は、火のように体を温める。
- 脾は、万物を生み出す土のように、栄養分を作り出す。

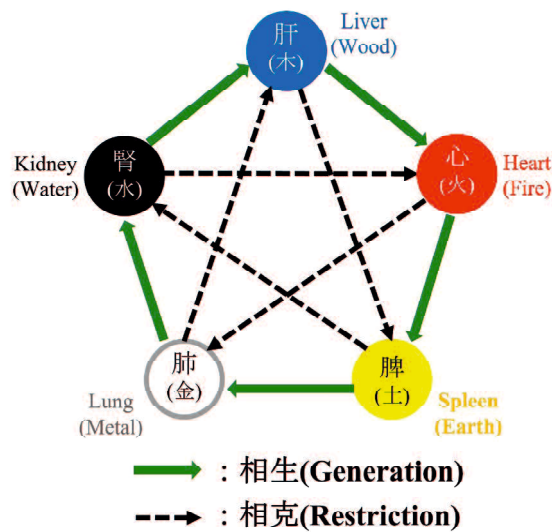


図 2.2: 五臓の相生相克関係

- 肺は、金属の収斂作用のように、気や津液を下に降ろす。
- 腎は、水が低いほうに流れるように精を貯め、水分を調整する。

相生は、それぞれが相手を強めるように作用することである。相克は、お互いが対立し、抑制しあうと考えられている [1, 31]。具体的相生相克関係は以下のようなものである [1]。

- 木生火は、木と木がこすれあって火を生じ、木を足すと火の勢いが強くなる。
- 火生土は、火が燃えると灰と土が生じる。
- 土生金は、土には鉱物（金属）が埋まっている。
- 金生水は、金属は表面に水滴が生じる。
- 水生木は、水が木を成長させる。
- 木克土は、木が土に根をはって栄養分を吸収するので、土に勝つ。
- 土克水は、土が水を吸収し、流れをせき止めるので、水に勝つ。
- 水克火は、水は火を消すので、火に勝つ。
- 火克金は、火は金属を溶かすので、金に勝つ。
- 金克木は、金属でできた刃物は木を切り倒すので、木に勝つ。

以上より、五行説における相生の力は、「木 → 火 → 土 → 金 → 水 → 木」と循環し、相克の

力は、「木 → 土 → 水 → 火 → 金」と循環すると考えられている [1, 31].

東洋医学における五臓は、相生相克の関係がバランスを維持することができれば、健康が保たれるとされている。従って、この関係は、どちらか一方が強すぎても弱すぎても健康は保たれない。五臓間の相互関係から、病気の原因や治療方法を考えることもある [31, 41]. 図 2.2 は五臓間の相生相克関係を表したものである。

また、臓腑間には表裏関係がある。これは、経脈の流れによって、臓と腑の密接な関係である。腑は表であり、臓は裏である。臓と腑は、互いに強く結びついているため、どちらかが変調を来すと、片方も変調しやすくなる。具体的な結びつきは、肝と胆、心と小腸、脾と胃、肺と大腸、腎と膀胱である [31, 32].

なお、腑の 1 つである三焦は、具体的な臓腑ではなく、臓腑を含む胸腹部の一部である。古くから伝わる東洋医学の文献である『皇帝内径（こうていないけい）』（[42]-[46]）に初めてこの言葉が出現し、『難経』（[36]）では「有名無形（ゆうめいむけい）」（名のみで、実質がない）とされている。また『中蔵経』では、三焦は、すべての臓腑を総領し、各臓腑を協調させて、それぞれの正常な生理機能を発揮させることで、人の健康を保っていると記載されている [35]. つまり、東洋医学における三焦の役割は、五臓六腑のバランス状態を維持することで、これにより人体の健康が保たれると考えられている。三焦は上焦（じょうしょう）・中焦（ちゅうしょう）・下焦（げしょう）から構成される。上焦は横隔膜（おうかくまく）の上部であり、心と肺も含む。中焦は横隔膜の下から臍（へそ）までの腹部であり、肝と脾を含む。下焦は臍より下の部分であり、腎を含んでいる [47, 48].

近年、西洋医学の解剖学の発展に伴い、新たな視点から三焦の実体を探求する研究も少なくない。1980 年代に、大友は、「三焦は実態のある臓腑であってそれは臓側腹膜である」という大友一夫学説を提案している [49]. 2016 年、J. C. Coffery は、「解剖学的並びに臨床医学的見地から、腸間膜を一つの臓腑単位 (Organ) として認識すべきである」と提案している [50]. これは西洋医学・解剖学の視点から、大友一夫学説の可能性を示唆している。また、2018 年、寺澤は、様々な文献調査を通して、大友一夫学説が妥当性のある決定的な学説であると結論づけている [51]. 以上のように、東洋医学における人体モデル構築において、具体的な臓腑とは対応

していない三焦は、極めて特徴的で注目すべき腑であるにも関わらず、他の臓腑との関係は判明していないのが現状である [47, 48].

東洋医学における五臓六腑は、人体にとって最も重要なものであり、五臓六腑が健康であれば、人体は健康であると考えられている [52]. そして、(a) 臓は人体の中心であり、一定の順に働いているのではなく、それぞれが同時に働いている。(b) 腑は臓からの制御を受け取り、それぞれの独自の効能を発揮してから、臓にフィードバックの影響を与える。(c) よって、五行説に沿った五臓同士の関係が主であり、表裏一体との臓腑間関係がその補うものであると考えられている [32, 27]. 本論文では、(a) を並行的な働きと呼び、(b) を逐次的な働きと呼ぶ。このように、五臓六腑には、並行的と逐次的な働きの両方が存在している。

#### 2.1.4 経脈と経穴

東洋医学における人体には、経脈と経穴と呼ばれるものがある。経脈は、経絡（けいらく）の一部であり、その中に気と血が流れており、臓腑と四肢・関節などと連絡し、身体の上・下・内外を貫いている。経脈は、身体を上・下に流れる縦の幹線であり、経絡の中で重要なものである。経脈は十二正経と奇経八脈から構成されている。

十二正経は、臓腑に属する十二本の経脈のことで、経脈の主体である。十二正経は、「肺経（はいけい）」、「大腸経（だいちょうけい）」、「胃経（いけい）」、「脾経（ひけい）」、「心経（しんけい）」、「小腸経（しょうちょうけい）」、「膀胱経（ぼうこうけい）」、「腎経（じんけい）」、「心包経（しんぼうけい）」、「三焦経（さんしょうけい）」、「胆経（たんけい）」、「肝経（かんけい）」から構成されている。

一方、奇経八脈（きけいはちみやく）は、十二正経と交差しながら伸びて、経脈同士を協調させる働きをする。十二正経の連携を密接にしたり、気血の流れを調節したりする役割を果たすとされる。奇経八脈は、陰維脈（いんいみやく）、陽維脈（よういみやく）、陰蹻脈（いんきょうみやく）、陽蹻脈（ようきょうみやく）、衝脈（しょうみやく）、任脈（にんみやく）、督脈（とくみやく）、帯脈（たいみやく）であり、このうち、任脈と督脈だけは十二正経と同様に固有の経穴を持っている [31, 53].

また、経穴は、基本的に経脈に位置付けられており、人体の表面に存在している特定の部位である。経穴に鍼や灸などで刺激を与えると、体調の調整・諸症状の緩和が図れる。経穴には、361 箇所の「正穴（せいけつ）」と 48 箇所の「奇穴（きけつ）」がある。正穴は、十四経脈（十二正経と任督二脈の総称）にあるものである。奇穴は、十四経脈以外の場所に存在するものの中に、1900 年以前に知られていた経穴であり、特定の疾患に対して特別な効果を示すものである [28]。

本論文では、361 箇所の正穴と 48 箇所の奇穴を対象にする。表 2.3 には経脈と経穴の名称と WHO 記号を示し、経穴の数を示す。

表 2.3: 経脈と経穴の WHO 記号

経脈			経穴		
名称	WHO表記	名称	WHO表記	経穴数	
十二正経	手の太陰肺経	LU	正穴	LU1 ~ LU11	11
	手の陽明大腸経	LI		LI1 ~ LI20	20
	足の陽明胃経	ST		ST1 ~ ST45	45
	足の太陰脾経	SP		SP1 ~ SP21	21
	手の少陰心経	HT		HT1 ~ HT9	9
	手の太陽小腸経	SI		SI1 ~ SI19	19
	足の太陽膀胱経	BL		BL1 ~ BL67	67
	足の少陰腎経	KI		KI1 ~ KI27	27
	手の厥陰心包経	PC		PC1 ~ PC9	9
	手の少陽三焦経	TE		TE1 ~ TE23	23
	足の少陽胆経	GB		GB1 ~ GB44	44
	足の厥陰肝経	LR		LR1 ~ LR14	14
奇経	任脈	CV	CV1 ~ CV24	24	
	督脈	GV	GV1 ~ GV28	28	
		奇穴	EX-HN1 ~ EX-HN15	48	
			EX-CA1		
			EX-B1 ~ EX-B9		
			EX-UE1 ~ EX-UE11		
			EX-LE1 ~ EX-LE12		
			合計	409	

### 2.1.5 気・血・津液

東洋医学では、人体の生命活動を維持するための代謝物質は気・血・津液と呼ばれている。気・血・津液は、空気と水穀（すいこく、飲食物を指す）の精微（せいび、栄養を指す）から、臓腑・経脈の生理機能によって、生産されるものであり、人体の生命活動を維持する臓腑・経脈を機能させるための重要な物質である。東洋医学では、気・血・津液が重要な位置を占め、それぞれが正常に生成され、滞ることなく循環すれば、臓腑や組織が正しく働き、病気にかかりにくくなると考えられている [27, 32].

気（き）は、生命活動のエネルギー源である。分布しているところや役割によって、元気、宗気、営気、衛気の 4 種類の気があるとされている。元気（げんき）は、母体から受け継ぎ腎臓に貯蓄される先天の精が変化生成されたものであり、生命活動の原動力となる。宗気（そうき）は、肺において後天の精と天の気が交わって、胸中に集まる気である。五臓の心と肺との関係が深く、臓腑の活動を支えている気である。営気（えいき）は、脈中を動き、臓腑や手足などの各器官を栄養して、それらの活動を支える。衛気（えき）は、脈外を素早く巡る気で、特に体表近くで活動し、肌膚を温め、外邪に対する防衛的な役割をしている [31, 32].

血（ち）は、脈管の中に存在している赤い液体であり、栄養物や酸素と結合している。飲食物は臓腑の働きによって、水穀の精微に変化する。その一部が血管に入って、気的作用を受けることで、血になる [31, 32].

津液（しんえき）は、体内に存在する血以外のすべての水分を指す。これは全身に分布し、体を潤している。津液は、津と液の 2 つに分けられている。澄んでさらさらしたものを津といい、濁ってねっとりしているものを液という [31, 32].

東洋医学では、気・血・津液と三焦は緊密な関係を持つと考えられている。中焦で気・血・津液が化生（かせい、気・血・津液を作ることを指す）し、上焦を通路として全身に輸送（ゆそう、気・血・津液を臓腑・組織・皮膚などに送ることを指す）させ、下焦を通して糟粕（吸収されないもの）や尿液を排泄する、と考えられている [31, 54].

## 2.2 ペトリネット・カラーペトリネット

### 2.2.1 ペトリネット

#### ペトリネットの起源と発展

1962 年, C.A. Petri はドイツのダームスタット工科大学数学物理学科へ提出した学位論文の中で, PN の概念を提案した. その後, C. A. Petri 博士の研究は, アメリカの Applied Data Research 社で情報システム理論プロジェクトを指揮していた A.W. Holt の注目を引いた [55, 56]. PN の初期の発展・応用は, 情報システム理論プロジェクトに関連した報告書 [57]-[62], および 1970 年のプロジェクト MAC の並行システム・並列計算に関する会議 (Project MAC Conference on Concurrent Systems and Parallel Computation) の記録 [63] から見られる.

PN は, フローチャートと同様に図形で記述され, かつ並列あるいは並行事象を表現することができ, 本質的な一般性・許容性を持っているため, 非常に幅広く多様な応用ができるものである [64]-[72].

1970 年から 1975 年にかけて, M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology, マサチューセッツ工科大学) の計算構造研究グループは, PN に関する研究活動を活発に進めた. 1975 年 7 月, M.I.T. で PN とその応用に関する会議が開かれた. しかし, 会議の予稿集は出版されなかった. 1980 年代よりヨーロッパにおいて, PN に関するワークショップが組織化され, 会議予稿集の出版が活発になっている. 1980 年, フランス・ストラスバURG で PN の応用と理論に関する最初のヨーロッパのワークショップが開かれた. それ以降, このワークショップは, 毎年ヨーロッパの各地で開催されている [6, 73, 74].

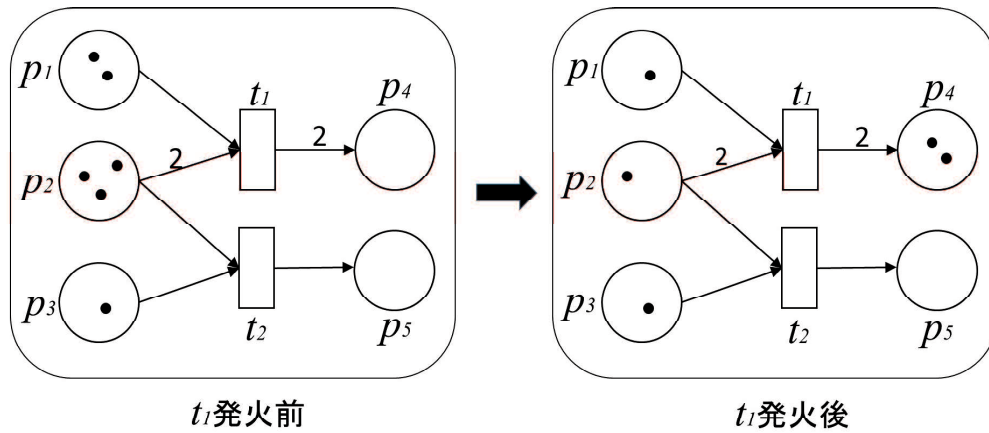


図 2.3: PN の例

ペトリネットの表現

PN は数式的に  $\Sigma = (N, M_0) = (P, T, F, W, M_0)$  で表される. ここで,  $P$  はプレースの有限集合,  $T$  はトランジションの有限集合,  $F$  はアークの集合,  $W$  はアークの重みであり  $F$  から非負整数への写像である.  $M_0$  は初期マーキングであり, マーキングはプレースから非負整数への写像である. PN のマーキングはトランジションの発火によって遷移する.  $\forall p \in P; M_p \geq W_{(p,t)}$  が成り立つとき, マーキング  $M$  でトランジション  $t$  は発火可能である. PN の二つの異なるトランジション  $t_1$  と  $t_2$  がマーキング  $M$  で発火可能であるとき,  $t_1, t_2$  のうち一方が発火すると他方が発火できなくなれば,  $t_1$  と  $t_2$  は競合状態である [8].

PN をグラフとして表現する場合, プレースは円 (○), トランジションは四角 (□) で表されるノードであり, アークはノード間を結ぶものとして, トークンはプレースの上に点として描かれる. アークの重みは, そのアークに付されるが, 重みが 1 の場合は省略されることが多い.

図 2.3 に PN の例を示す. 図中の左の PN に対応する五項組の式は以下の通りである.

$$\Sigma = (P, T, F, W, M_0) :$$

$$P : P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\};$$

$$T : T = \{t_1, t_2\};$$



$$F : F = \{(p_1, t_1), (p_2, t_1), (p_2, t_2), (p_3, t_2), (t_1, p_4), (t_2, p_5)\};$$

$$W : W_{(p_1, t_1)} = 1, W_{(p_2, t_1)} = 2, W_{(p_2, t_2)} = 1, W_{(p_3, t_2)} = 1, W_{(t_1, p_4)} = 2, W_{(t_2, p_5)} = 1;$$

$$M_0 : M_0 = (2, 3, 1, 0, 0)$$

ここでアーク  $(p_1, t_1), (p_2, t_1) \in F$  は、トランジション  $t_1$  の入力アークといい、プレース  $p_1$  と  $p_2$  をトランジション  $t_1$  の入力プレースという。同様に、アーク  $(t_1, p_4)$  は、トランジション  $t_1$  の出力アークであり、プレース  $p_4$  は、出力プレースである。図 2.3 の左図において  $t_1$  と  $t_2$  の両方が発火可能であり、 $t_1$  が発火することでマーキングは、 $M'=(1, 1, 1, 2, 0)$  に変化する。

### 2.2.2 カラーペトリネット

PN の有用な特性を保持すると同時に、初期の形式を拡張し、CPN が導入されている。PN のトークンに着色し、なんらかの属性を持たせることにより、FMS などのような複雑なシステムのモデルが簡略化される。言い換えれば、カラートークン（トークンに色をつけている）を導入し、対応する発火規則を定めることで、PN にある種の階層化を行うことができ、より簡潔なモデルの構築が可能となる [7]。

CPN は、九項組式  $CPN=(\Sigma, P, T, F, V, C, G, E, M_0)$  で表される [8]。  $P, T, F$  は、それぞれプレース、トランジション、アークの集合である。  $\Sigma$  は、色 (型名) の集合である。  $V$  は、アーク変数  $v$  の集合であり、  $Type(v) (\subseteq \Sigma)$  は  $v$  が取り得る色の集合を表す。  $C$  は、プレース色関数であり、  $C(p)$  は、プレース  $p$  が持つことができるトークンの色の集合である。  $G$  は、各トランジション  $t \in T$  に対する発火制御のガード関数であり、  $True$  または  $False$  のいずれかの値を取る ( $G$  に関して、詳しくは文献 [75]-[77] を参照されたい)。  $E$  は、アークの式であり、各アーク  $a \in F$  に対して、  $E(a)$  は  $V$  の変数を含むことが可能な式である。 CPN のマーキング  $M$  は、プレース  $p$  から  $C(p)$  上への多重集合への写像であり、  $M_0$  は初期マーキングである [8]。

### 2.2.3 CPN Tools とその使用

CPN Tools[78] は、デンマークの Aarhus 大学で開発された PN ツールで標準的な PN から、CPN、タイムペトリネットも扱える非常に有用なグラフィカル・シミュレーションツールである。CPN Tools では、ML 言語を用いて関数、変数、プレースの型の定義を行うことができる。また、CPN Tools は、PN の関数構文、ネット構造のエラーのチェック機能も備えている。さらに、構築したモデルのグループ化、階層化、アークやプレースやトランジションなどに色を付けることができる機能があり、構築したモデルを読みやすくすることができる。本論文では、PN をシミュレーションするに当たり、この CPN Tools を用いる。

#### CPN Tools による CPN 例

図 2.4 に CPN Tools で表現した CPN の例を示す。図 2.4 の CPN に対応する九項組式は以下の通りである。

$$CPN = (\Sigma, P, T, F, V, C, G, E, M_0)$$

$$\Sigma: \Sigma = \{STRING, INT, REAL\};$$

$$P: P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7\};$$

$$T: T = \{t\};$$

$$F: F = \{(p_1, t), (p_2, t), (p_3, t), (p_4, t), (t, p_5), (t, p_6), (t, p_7)\};$$

$$V: V = \{a, b, c, d, x, y, z\};$$

$$C_{P_1} = C_{P_2} = C_{P_5} = STRING, C_{P_3} = C_{P_6} = INT, C_{P_4} = C_{P_7} = REAL;$$

$$G: \forall t \in T, G(t) = True, \text{ expression of } t : [x = \text{"hello word"}, y = c * 2, z = d + 1.5];$$

$$E: E_{(p_1, t)} = a, E_{(p_2, t)} = b, E_{(p_3, t)} = c, E_{(p_4, t)} = d, E_{(t, p_5)} = x, E_{(t, p_6)} = y,$$

$$E_{(t, p_7)} = z;$$

$$M_0: M_{0(p_1)} = \text{"hello"}, M_{0(p_2)} = \text{"word"}, M_{0(p_3)} = \text{"2"}, M_{0(p_4)} = \text{"1.0"}, M_{0(p_5)} = \emptyset,$$

$$M_{0(p_6)} = \emptyset, M_{0(p_7)} = \emptyset;$$

一方、CPN Tools では、出力値を更新する場所（計算を行うところ）を設置する方法は、2

つある。方法 i は、図 2.4 に示しているようなガード関数  $G(t)$  に、式 (Expression) を入れる方法である。方法 ii は、図 2.5 に示しているように、ガード関数  $G(t)$  を入れず、出力アークに式を入れる方法である。図 2.5 の場合、対応する九項組式は以下の通りである。

$$CPN = (\Sigma, P, T, F, V, C, G, E, M_0)$$

$$\Sigma: \Sigma = \{STRING, INT, REAL\};$$

$$P: P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7\};$$

$$T: T = \{t\};$$

$$F: F = \{(p_1, t), (p_2, t), (p_3, t), (p_4, t), (t, p_5), (t, p_6), (t, p_7)\};$$

$$V: V = V = \{a, b, c, d, \text{"hello word"}, c * 2, d + 1.5\};$$

$$C_{P_1} = C_{P_2} = C_{P_5} = STRING, C_{P_3} = C_{P_6} = INT, C_{P_4} = C_{P_7} = REAL;$$

$$G: \forall t \in T, G(t) = True;$$

$$E: E_{(p_1, t)} = a, E_{(p_2, t)} = b, E_{(p_3, t)} = c, E_{(p_4, t)} = d, E_{(t, p_5)} = \text{"hello word"},$$

$$E_{(t, p_6)} = c * 2, E_{(t, p_7)} = d + 1.5;$$

$$M_0: M_{0(p_1)} = \text{"hello"}, M_{0(p_2)} = \text{"word"}, M_{0(p_3)} = \text{"2"}, M_{0(p_4)} = \text{"1.0"}, M_{0(p_5)} = \emptyset,$$

$$M_{0(p_6)} = \emptyset, M_{0(p_7)} = \emptyset;$$

方法 i と方法 ii とともに、出力値は同じである。方法 i は、実装が容易であり、PN の図を読みやすいというメリットがある。また、方法 i より、方法 ii は、読込時間が短いというメリットがある。両方ともそれぞれメリットがあるが、本論文では、第 3 章から第 5 章までは、人体モデルの構築法を提案するために、方法 i (図 2.4 の方法) を使用する。また、第 6 章では、多くのシミュレーションを効率的に行うために、シミュレーションモデルの中に、方法 ii (図 2.5 の方法) を使用する。読込時間や方法の変更に関する詳しい記述は第 6 章に記す。

図 2.4 のモデルでは、トランジション  $t$  が発火した後、図 2.6 のようになる。図 2.6 の時、マーキングは、 $M_{1(p_1)} = \emptyset, M_{1(p_2)} = \emptyset, M_{1(p_3)} = \emptyset, M_{1(p_4)} = \emptyset, M_{1(p_5)} = \text{"helloworld"}, M_{0(p_6)} = \text{"4"}, M_{0(p_7)} = \text{"2.5"}$  である。また、図 2.5 のモデルでは、トランジション  $t$  が発火した後、図 2.7 のようになる。図 2.7 の時、マーキングは図 2.6 のマーキングと同様である。

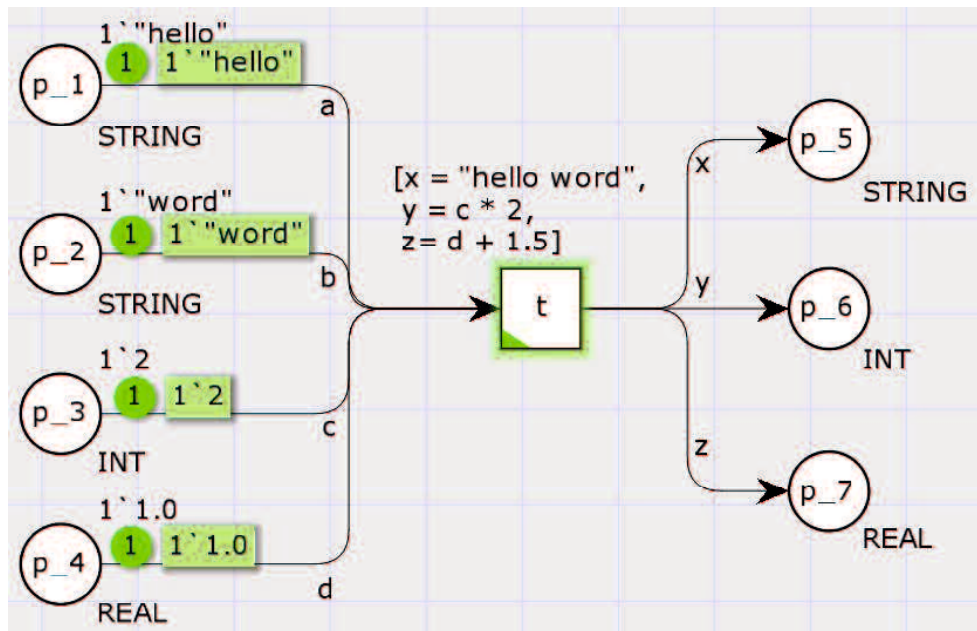


図 2.4: CPN Tools を用いた CPN の表現例 (方法 i)

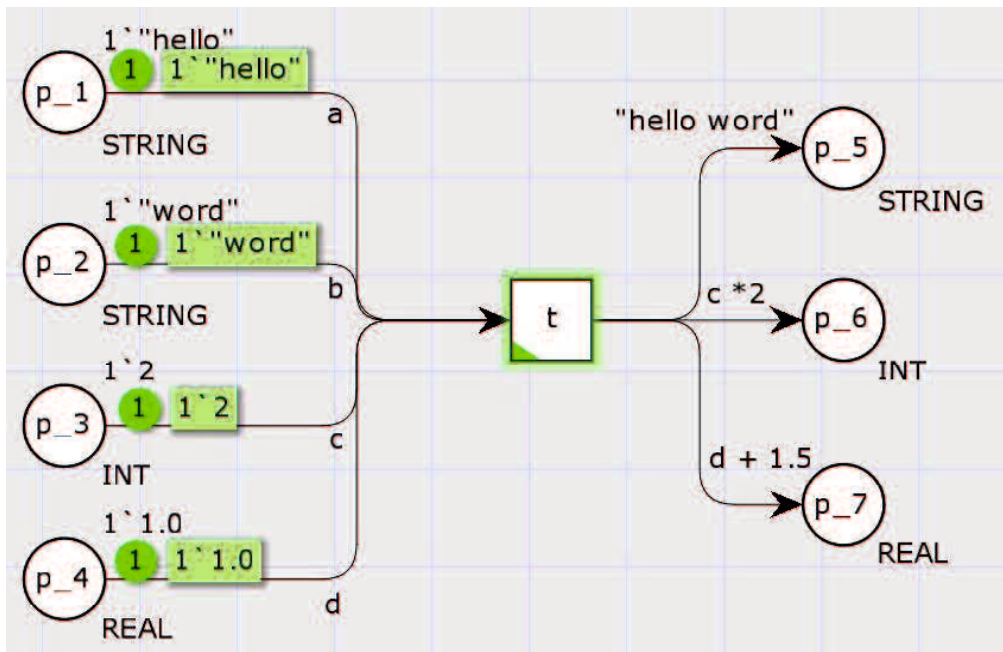


図 2.5: CPN Tools を用いた CPN の表現例 (方法 ii)

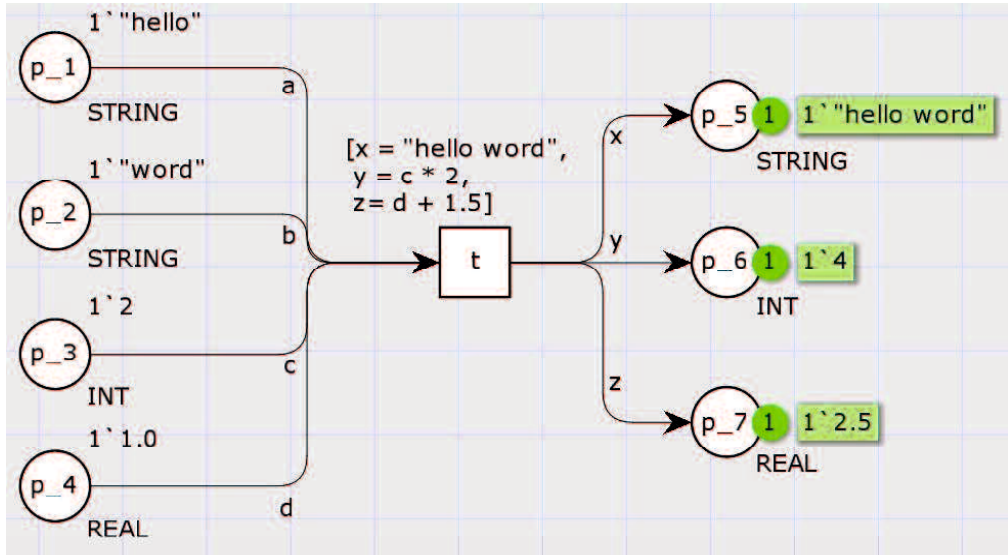


図 2.6: 図 2.4 におけるトランジション  $t$  発火後の表現

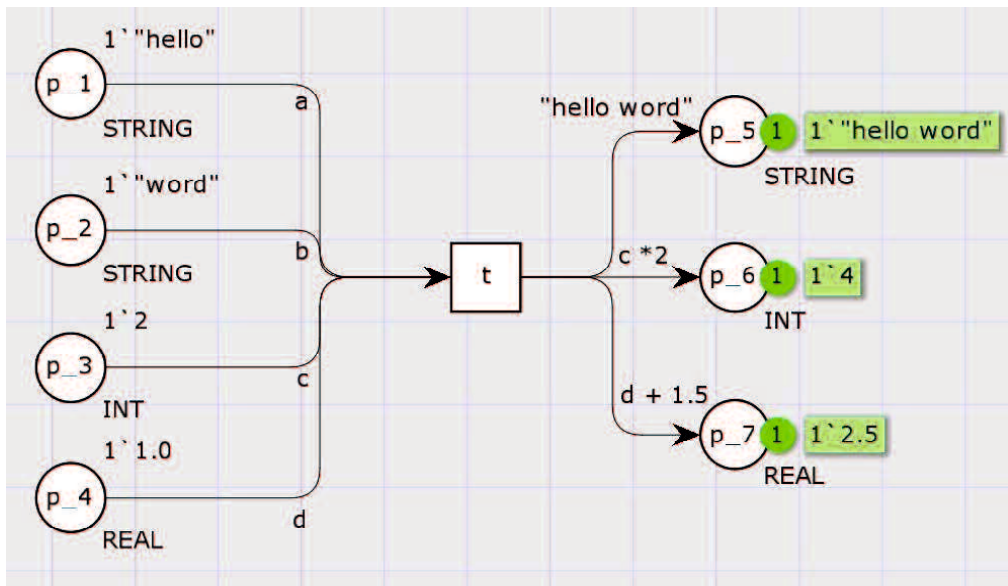


図 2.7: 図 2.5 におけるトランジション  $t$  発火後の表現

## CPN Tools による階層化

階層化とは、フォルダやファイルの構成を階層構造にして、閲覧やアクセスを容易にすることである。CPN Tools の「Hierarchy」の機能を用いて、グループ化したモデルを 1 つの矩形の中に収めることができる。CPN Tools による階層化をしても、CPN の構造や値の計算などに影響を及ぼさない。

例えば、図 2.8 のプレース  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$  とトランジヨン  $T_1, T_2, T_3, T_4$  がある。Hierarchy の機能を使うと、図 2.9 のように、点線枠内の要素 ( $P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, T_1, T_2, T_3, T_4$ ) を、「Group1」に収容できる。

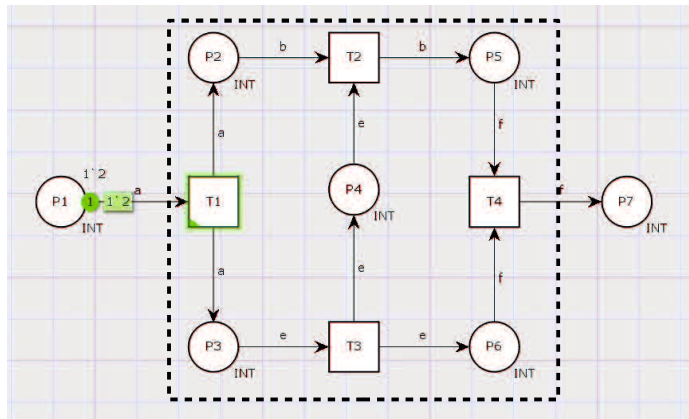


図 2.8: 階層化前

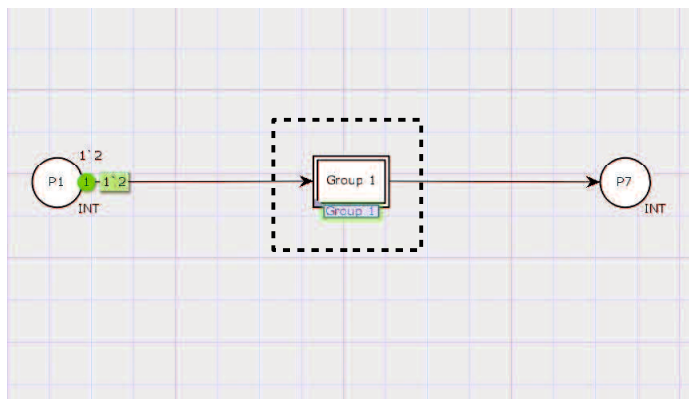


図 2.9: 階層化後

## CPN Tools によるシミュレーション

CPN Tools によるシミュレーション方法は、CPN Tools の「Simulation」機能を用いて行う。シミュレーションが終わった後、結果レポートは自動生成でき、テキストファイルに書き出すことができる。

例えば、図 2.10 は図 2.8 のモデルによって、トランジション  $T_1$ ,  $T_3$ ,  $T_2$ ,  $T_4$  が順番に発火した状態である。対応の結果レポートのテキストファイルは図 2.11 である。図 2.11 により、トランジションの発火の順番、発火による出力の値が読み取れる。例えば、図 2.11 の 5 行目と 6 行目の意味は、「トランジション  $T_1$  は 1 番目に発火し、発火による出力の値は  $a = 2$ 」である。

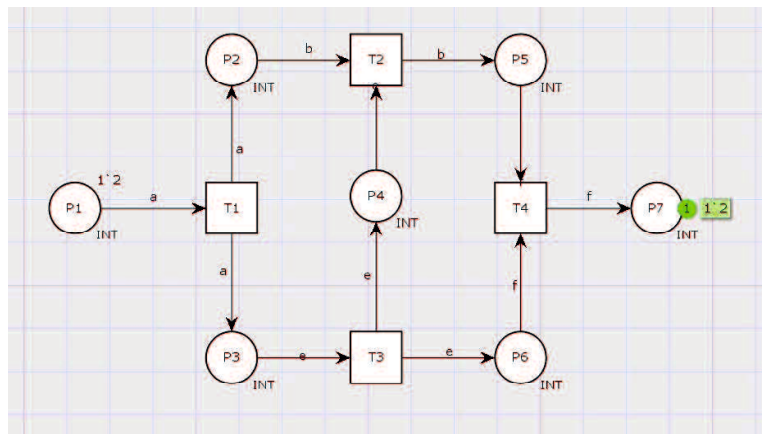


図 2.10: CPN Tools による図 2.8 のシミュレーション例

```

1 CPN Tools simulation report for:
2 /cygdrive/C/Users/**/Desktop/output/hierarchy.cpn
3 Report generated: Thu Sep 2 14:50:56 2021
4
5 1^ 0^ T1 @ (1:New_Page)
6 - a = 2
7 2^ 0^ T3 @ (1:New_Page)
8 - e = 2
9 3^ 0^ T2 @ (1:New_Page)
10 - e = 2
11 - b = 2
12 4^ 0^ T4 @ (1:New_Page)
13 - f = 2 [EOF]

```

図 2.11: CPN Tools による図 2.8 のシミュレーション結果レポート

## 第3章 五臓六腑モデルの提案

本章では，五臓六腑モデルの構築法について述べる．

まず，一つの臓または腑を表す臓腑単体モデルからはじめ，具体的な臓腑に対応しない三焦を除いた五臓五腑のモデルを構築し，その後で三焦を扱うモデルを追加することで，五臓六腑を表現するモデルを構築する．

東洋医学では，各臓腑の働きや気・血の循環・新陳代謝といった人体の生命活動を維持するための生理活動はすべて一定のリズムをもって動いており，またすべての臓腑はバランスの取れた動きをするのが基本であると考えられている [32]．いわば，すべての臓腑は心の鼓動によってリズムのとれた働きをしている．

この考えに基づいて，本論文では，モデルの構築，および，シミュレーションを行うためのシミュレーションモデルの構築において，一定単位の心の鼓動数を時間間隔とみなして，時間 ( $\tau$ ) 設定をする．



### 3.1 臓腑状態値の推定

Sun らは、五臓の生理的平衡状態に着目し、五行説とファジィシステム理論を融合したファジィモデルを提案している。このモデルでは、臓腑の状態を図 3.1 のように五段階で表現している。また、五臓間の相生相克関係について、例えば、肝・心・腎の場合、肝と腎は図 3.2 で示すように、それぞれ心に対する相生と相克の働きをするという五行説に基づき、また心自身の自然衰退（時間が経つにつれ、臓腑自身の状態が悪くなること）を考慮に入れて、心の状態値を以下の計算式 (1) で与えている [10]。

$$f_H(\tau') = g \cdot f_L(\tau - 1) - r \cdot f_K(\tau - 1) + s \cdot f_H(\tau - 1) \quad (1)$$

式 (1) では、 $f_H(\tau')$  は、時刻  $\tau'$  における心の状態、 $f_L(\tau - 1)$ 、 $f_K(\tau - 1)$ 、 $f_H(\tau - 1)$  は、それぞれ、時刻  $\tau - 1$  における肝、腎、心の状態を表しており、 $g, r, s$  は、それぞれ相生、相克、自然衰退の影響の度合いを表すパラメータである。なお、 $\tau > \tau' > \tau - 1$  とする。

Sun らのモデルでは、臓と腑の状態に関する関係式を与えてないため、本論文では、心と小腸を例にして、その関係式を以下のように提案する。臓腑間の表裏関係は、図 3.3 で示すように、心の状態は自身の自然衰退と小腸からの影響で決定される。小腸も同様である。また、前述 (2.1.3 の (c)) の「五行説に沿った五臓同士の関係が主であり、表裏一体との臓腑間の関係がその補うものである」に基づいて、臓腑間で働く表裏一体関係を五臓間の相生相克の後に行うようにしている。 $f_H(\tau')$  と  $f_{SI}(\tau - 1)$  をそれぞれ、時刻  $\tau'$  と  $\tau - 1$  における心と小腸の状態値として、 $f_{SI}(\tau')$  と  $f_H(\tau'')$  は次の式 (2)、(3) で計算されるように定める。ただし、 $c$  と  $s$  は、それぞれ表裏関係による影響を受け取る度合いと自然衰退率を表すパラメータである。また、 $\tau''$  は、 $\tau > \tau'' > \tau' > \tau - 1$  を満たす。

$$\text{心} \rightarrow \text{小腸} : f_{SI}(\tau') = c \cdot f_H(\tau') + s \cdot f_{SI}(\tau - 1) \quad (2)$$

$$\text{小腸} \rightarrow \text{心} : f_H(\tau'') = c \cdot f_{SI}(\tau') + s \cdot f_H(\tau') \quad (3)$$

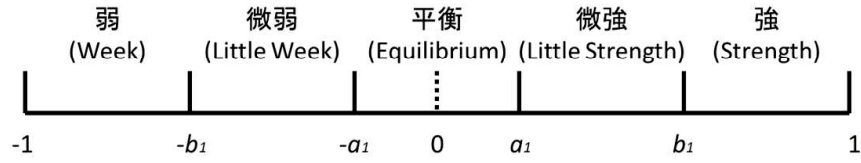


図 3.1: 臓腑の状態を表す五段階

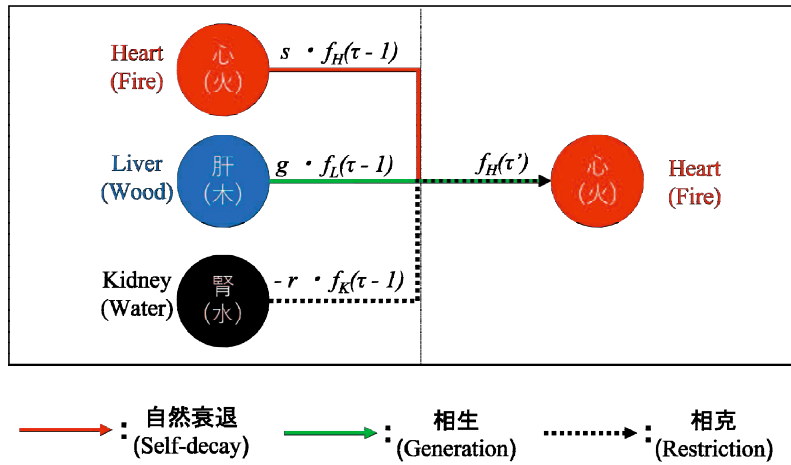


図 3.2: 相生と相克の表現

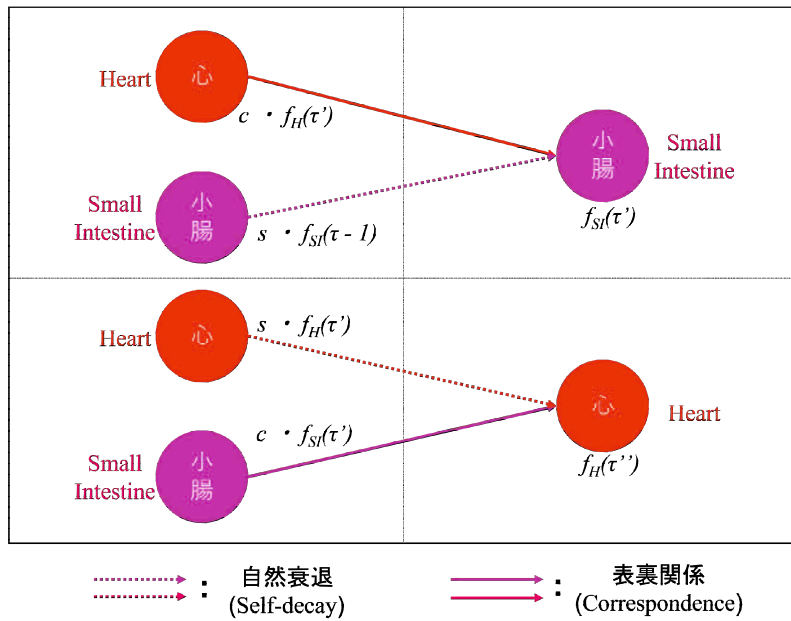


図 3.3: 表裏関係の表現

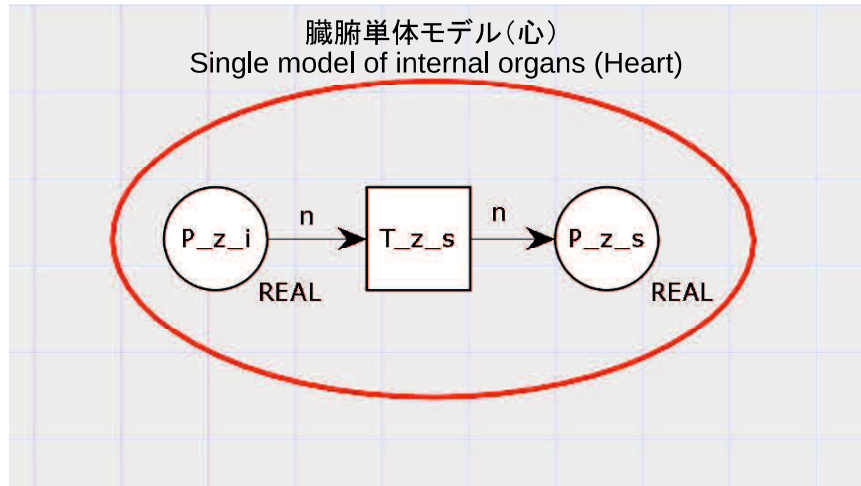


図 3.4: 心の臓腑単体モデル

### 3.2 臓腑単体モデルの提案

ここでは、一つの臓腑のモデル (臓腑単体モデル) の構築について述べる。図 3.4 は CPN Tools 上に構築した心の臓腑単体モデルを示している。対応する CPN の九項組式 (以降, CPN 式) は、以下の通りである。以降, すべて臓腑の単体モデルの構造は同様である。

$$CPN = (\Sigma, P, T, F, V, C, G, E, M_0)$$

$$\Sigma: \Sigma = \{REAL\};$$

$$P: P = \{P_{z_i}, P_{z_s}\};$$

$$T: T = \{T_{z_s}\};$$

$$F: F = \{(P_{z_i}, T_{z_s}), (T_{z_s}, P_{z_s})\};$$

$$V: V = \{n\};$$

$$C_{P_{z_i}} = C_{P_{z_s}} = REAL;$$

$$G: \forall t \in T, G(t) = True;$$

$$E: E_{(P_{z_i}, T_{z_s})} = n, E_{(T_{z_s}, P_{z_s})} = n;$$

$$M_0: M_0(P_{z_i}) = M_0(P_{z_s}) = \emptyset;$$

図 3.4 において,  $P_{z_i}$  は臓腑の入力プレースであり, 他臓腑からの相生相克の影響をこのプ

レースで受けとる。  $P_{z_s}$  は臓腑の状態プレースであり、プレースにあるトークンの値が臓腑の状態を表す。  $T_{z_s}$  は状態トランジションであり、  $P_{z_i}$  のトークンを状態プレース  $P_{z_s}$  に送り出す。

### 3.3 臓腑関係モデルの提案

ここでは、臓腑関係モデルの構築法について述べる。図 3.5 は、心と小腸を例にして CPN Tool 上に構築したものであり、臓と腑を結合したモデルである。対応する CPN の式は、図 3.4 の心の臓腑単体モデルの CPN 式の各項に以下の項を加えたものである。

$$P : P = \{P_{f_i}, P_{f_s}\};$$

$$T : T = \{T_{fz}, T_{f_s}, T_{zf}\};$$

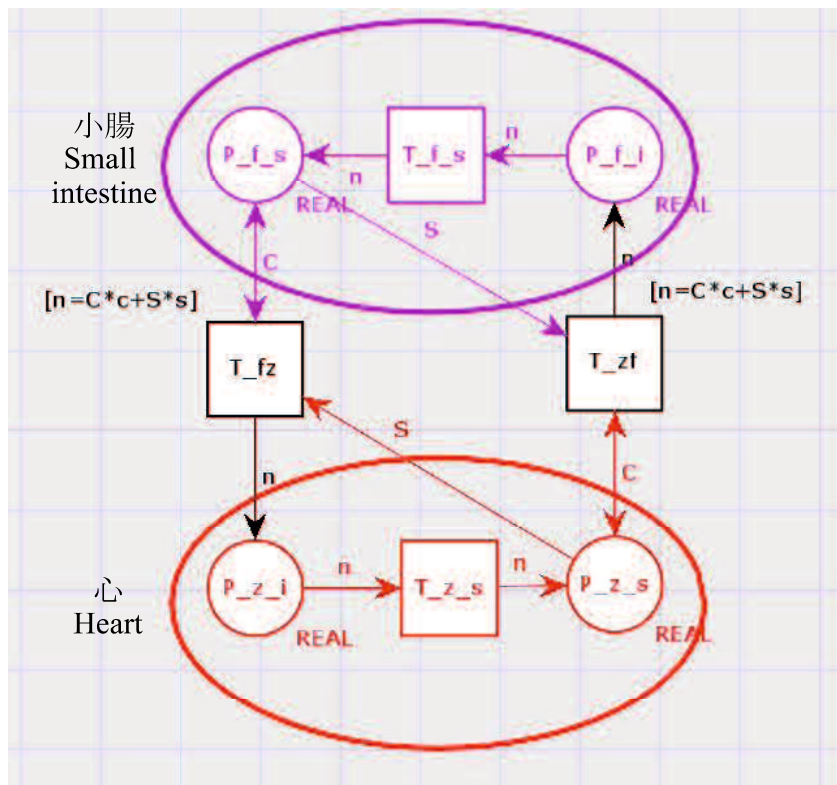


図 3.5: 臓 (心) と腑 (小腸) の結合モデル

$$F : F = \{(P_{z-s}, T_{zf}), (P_{z-s}, T_{fz}), (T_{fz}, P_{f-i}), (T_{zf}, P_{z-s}), (P_{f-i}, T_{f-s}), (T_{f-s}, P_{f-s}), \\ (P_{f-s}, T_{fz}), (P_{f-s}, T_{zf}), (T_{fz}, P_{f-s}), (T_{fz}, P_{z-i})\};$$

$$V : V = \{C, S\};$$

$$C_{P_{f-i}} = C_{P_{f-s}} = REAL;$$

$$G: \forall t \in T, G(t) = True, \text{ expression of } T_{fz} : [n = C * c + S * s],$$

$$\text{expression of } T_{zf} : [n = C * c + S * s];$$

$$E: E_{(P_{z-s}, T_{zf})} = C, E_{(P_{z-s}, T_{fz})} = S, E_{(T_{fz}, P_{f-i})} = n, E_{(T_{zf}, P_{z-s})} = C, E_{(P_{f-i}, T_{f-s})} = n,$$

$$E_{(T_{f-s}, P_{f-s})} = n, E_{(P_{f-s}, T_{fz})} = C, E_{(P_{f-s}, T_{zf})} = S, E_{(T_{fz}, P_{f-s})} = C, E_{(T_{fz}, P_{z-i})} = n;$$

$$M_0: M_0(P_{f-i}) = M_0(P_{f-s}) = \emptyset;$$

図 3.5 の  $T_{zf}$  は、心から小腸への影響を式 (2) に基づき、 $T_{fz}$  は小腸から心への影響を式 (3) に基づいて構築している。なお、CPN Tools の記述制約により、図 3.5 における式 (2), (3) の左辺を変数  $n$ 、右辺の相互作用部分の状態値と自然衰退部分の状態値をそれぞれ変数  $C$  と  $S$  で記述する。

### 3.4 臓腑結合モデルへの相生相克関係の追加

ここでは、図 3.5 に相生相克関係を表す要素を加えることで、相生相克関係を表す臓腑結合モデルの構築法を述べる。

図 3.6 は、相生相克関係を表す臓腑結合モデルである。対応する CPN 式は、図 3.5 の CPN 式の各項に以下の対応する項を加えたものである。

$$P : P = \{P_{r-i}, P_{g-i}, P_{r-o}, P_{g-o}\};$$

$$T : T = \{T_{z-i}, T_{z-o}\};$$

$$F : F = \{(P_{r-i}, T_{z-i}), (P_{g-i}, T_{z-i}), (T_{z-i}, P_{z-i}), (P_{z-s}, T_{z-i}), (P_{z-s}, T_{z-o}), (T_{z-o}, P_{z-s}), \\ (T_{z-o}, P_{r-o}), (T_{z-o}, P_{g-o})\};$$

$$V : V = \{R, G\};$$

$$C_{P_{r-i}} = C_{P_{g-i}} = C_{P_{r-o}} = C_{P_{g-o}} = REAL;$$

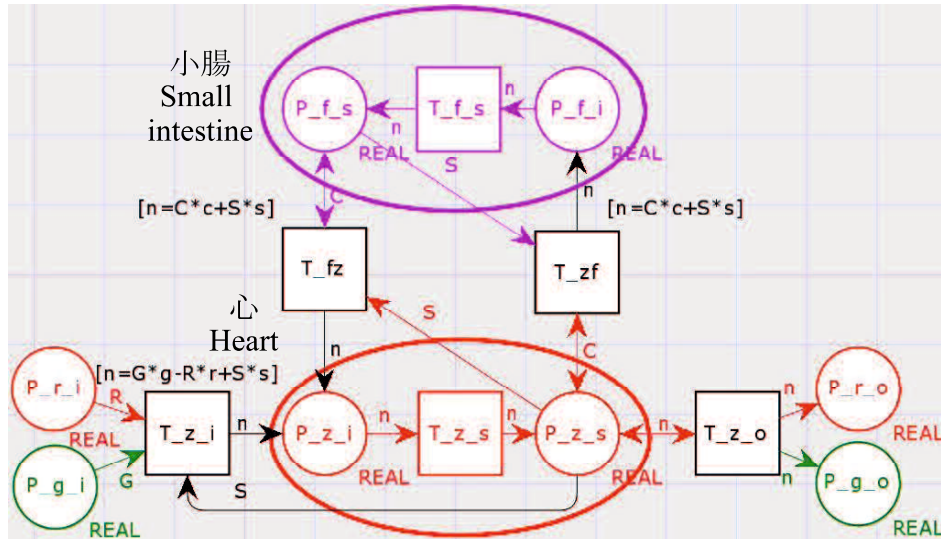


図 3.6: 相生相克関係を加えたモデル

$G: \forall t \in T, G(t) = True$ , expression of  $T_{z\_i}$ :  $[n = G * g - R * r + S * s]$ ;

$E: E_{(P_{r\_i}, T_{z\_i})} = R, E_{(P_{g\_i}, T_{z\_i})} = G, E_{(T_{z\_i}, P_{z\_i})} = n, E_{(P_{z\_s}, T_{z\_i})} = S,$

$E_{(P_{z\_s}, T_{z\_o})} = n, E_{(T_{z\_o}, P_{z\_s})} = n, E_{(T_{z\_o}, P_{r\_o})} = n, E_{(T_{z\_o}, P_{g\_o})} = n;$

$M_0: M_0(P_{r\_i}) = M_0(P_{g\_i}) = M_0(P_{r\_o}) = M_0(P_{g\_o}) = \emptyset;$

図 3.6 のプレース  $p_{g\_i}$  と  $p_{r\_i}$  は、それぞれ、相生入力プレースと相克入力プレースと呼ばれ、他の臓からの相生相克の影響をトークンとしてこれらのプレースで受け取る。  $T_{z\_i}$  は、入力トランジションと呼ばれ、相生相克の関係の影響を式 (1) に基づいて構築している。 CPN Tools の記述制約より、図 3.6 の中に、式 (1) の左辺を  $n$ 、右辺の相生と相克と自然衰退の部分の状態値をそれぞれ  $G$ 、  $R$ 、  $S$  で記述する。  $T_{z\_i}$  は、他の臓への相生相克影響を与える出力トランジションである。  $p_{g\_o}$  と  $p_{r\_o}$  は、それぞれ相生出力プレースと相克出力プレースと呼ばれ、他の臓への相生と相克の影響を与えるトークンを送り出す。

ここまで説明してきた相生相克関係を表現した臓腑結合モデルを複数組み合わせることで、図 3.7 のような五臓 (心, 脾, 肺, 腎, 肝) 五腑 (小腸, 胃, 大腸, 膀胱, 胆) とそれらの間の相生相克および表裏の関係を表現した五臓五腑のモデルを構築することができる。

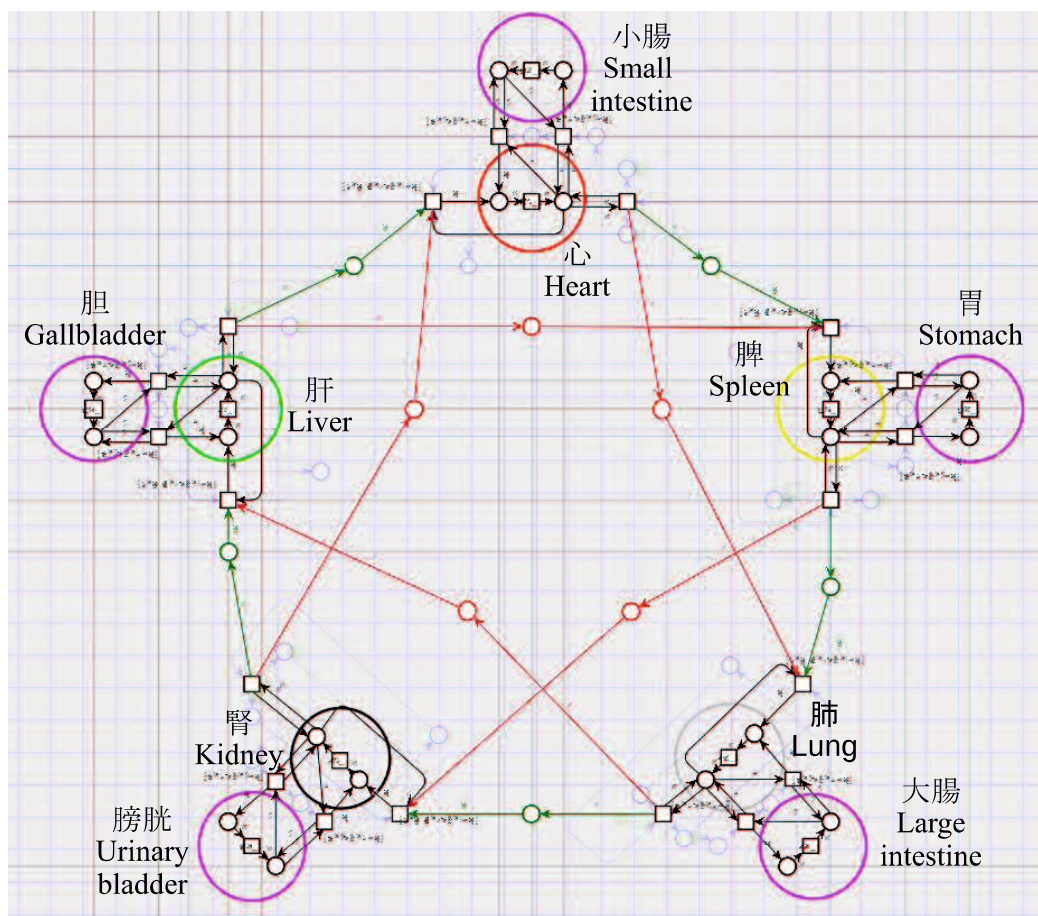


図 3.7: 五臓五腑モデル

### 3.5 三焦について

2.1.3 で述べたように、腑の1つである三焦は、他の臓腑との関係がまだ判明していないのが現状である。本論文では、三焦に関する先行研究を踏まえて、以下の a) と b) の方針に沿って、三焦のモデルを構築する。

a) 上焦，中焦，下焦を表現する図 3.4 のような臓腑単体モデルを構築する。

b) 上焦は心と肺，中焦は肝と脾，下焦は腎とそれぞれ表裏関係を持つとして、図 3.5 と類似した臓腑結合モデルを構築する。これにより、三焦の「臓と表裏関係を持つ」という腑としての性質を表現する。



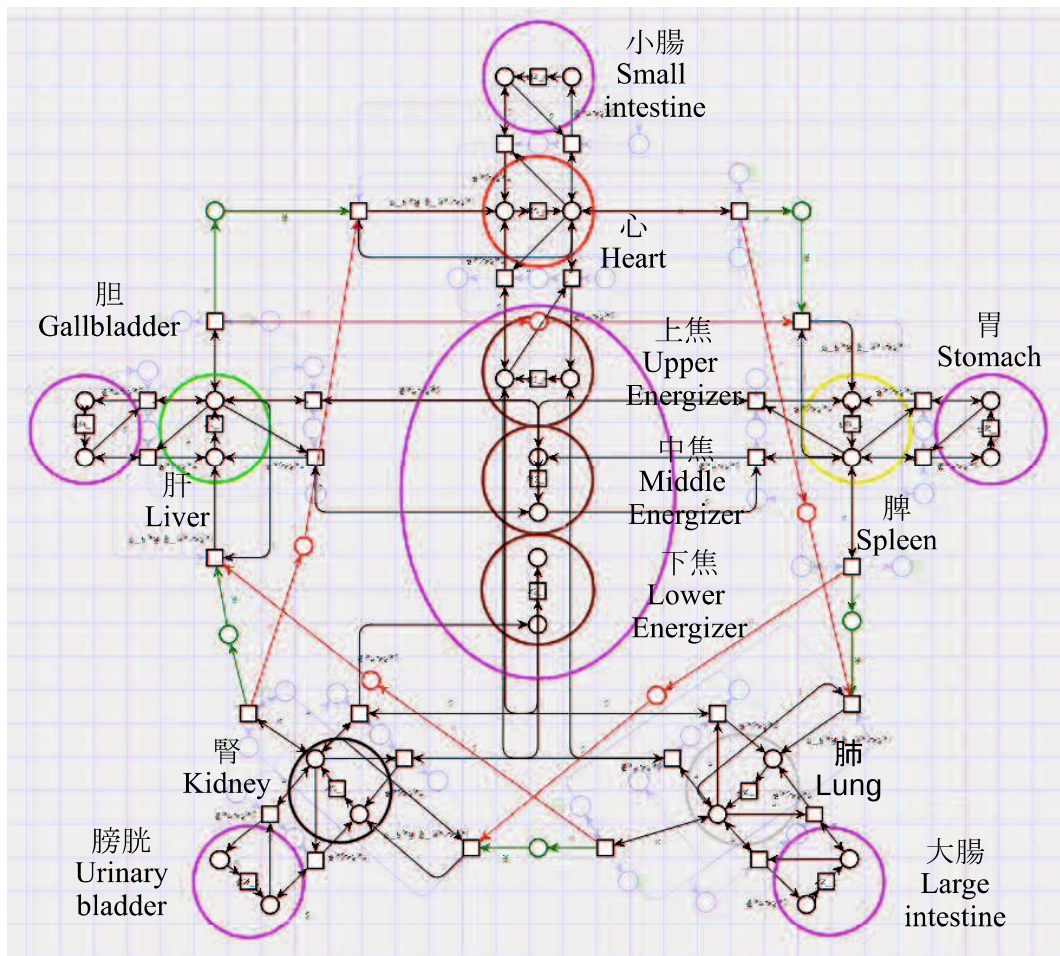


図 3.8: 五臓六腑モデル

a) と b) の方針に沿って、図 3.7 の五臓五腑モデルに三焦を加えることで、図 3.8 のような五臓六腑の CPN モデルを構築した。なお、三焦は「有名無形」であることから、五臓への相互作用を胆・小腸・胃・大腸・膀胱の後にいき、その終了時刻を  $\tilde{\tau}$  ( $\tau > \tilde{\tau} > \tau''$ ) とする。



## 第4章 経脈と経穴を加えたモデルの提案

本章では，人体の経脈・経穴をモデル化して，前章で構築した五臓六腑モデルに追加することにより，五臓六腑と経脈・経穴のモデルを構築する．

まずは，1個の経穴の効能を表現する計算式を提案し，1個の経穴と単体臓腑の結合モデルを構築する．次に，心包経を例として，1本の経脈に属するすべての経穴を構築し，経脈・経穴と五臓六腑の結合モデルを構築する．さらに，CPN Tools によるモデルの階層化を行い，モデルを見やすくした上で，人体にあるすべての経穴を構築する．最後に，五臓六腑モデルと経脈・経穴モデルの間に，橋渡し部分であるインターフェースを組み入れ，五臓六腑と経脈・経穴の結合モデルを構築する．

## 4.1 経穴の効能と鍼灸手技

2.1.4 で述べたように、WHO は表 2.3 に示した人体の 409 個の経穴を認めている。各経穴は独自の効能を持っている。経穴の効能は、ある経穴を刺激すると、特定の臓腑に一定量の補（または瀉）の影響である。東洋医学に臓腑の状態は、健康と不健康の 2 大別されており、また、不健康の状態は、虚と実に分けられている。虚は、人体に必要なものが不足していることで変調になっている状態であり、実とは、人体に不必要なものがあるため亢進の状態であると述べられている [32, 33]。図 3.1 では、臓腑の状態を五段階（弱、微弱、平衡、微強、強）で表現する。その中、弱と微弱は虚に対応し、強と微強は実に対応する。

東洋医学では、虚実補瀉の治療原則がある。いわゆる、虚に対する治療法は補であり、実に対する治療法は瀉である。鍼灸治療の現場では、治療師が患者の病状に合わせて有効な経穴を選択し、補あるいは瀉の治療を行う。さらに、補あるいは瀉の治療を行うために、治療師は一定の手技によって、経穴の補または瀉を選び、患者に適切な刺激量を与える [32, 33]。

本論文では、手技による経穴に与える刺激の量を図 4.1 のように、「強い、やや強い、普通、やや弱い、弱い」の五段階を分け、補の刺激を正の数、瀉の刺激を負の数で表現する。また、図 4.2 は、補瀉および刺激の量と臓腑状態値の対応を示している。「虚」は、図 4.2 の「弱」と「微弱」に対応し、「補」の治療を行うため、刺激量が  $[+1, +5]$  である。「実」は、図 4.2 の「強」と「微強」に対応し、「瀉」の治療を行うため、刺激量が  $[-5, -1]$  である。

各経穴は特定の臓腑に影響を与えられている。本論文では、文献 [1, 79] に基づき、経穴と臓腑の「経穴—臓腑の関係」を作成した。表 4.1 は、「経穴—臓腑の関係」の一部であり、心包経（経脈の 1 つ）の各経穴と臓腑の関係を示している。表 4.1 では、経穴と臓腑に関係がある場合、「○」をつけた。例えば、表 4.1 の中に、経穴 PC1（天池, Tianchi）は、心と関係を持っているため、「○」をつけた。

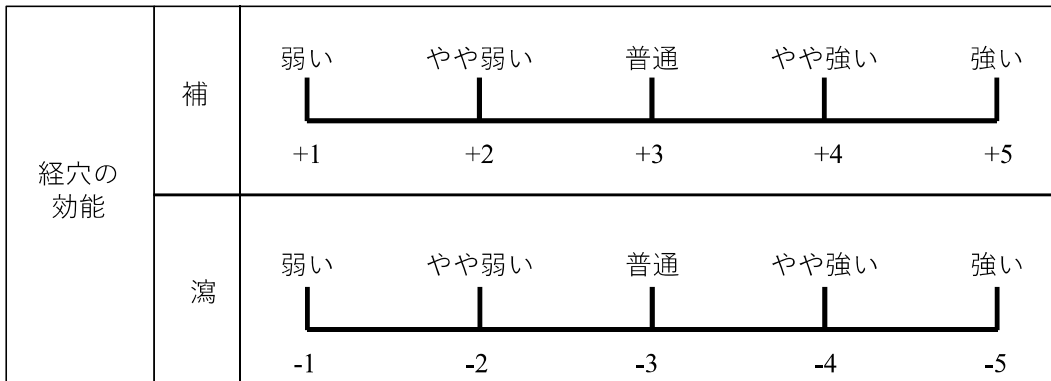


図 4.1: 経穴の刺激量を表す五段階

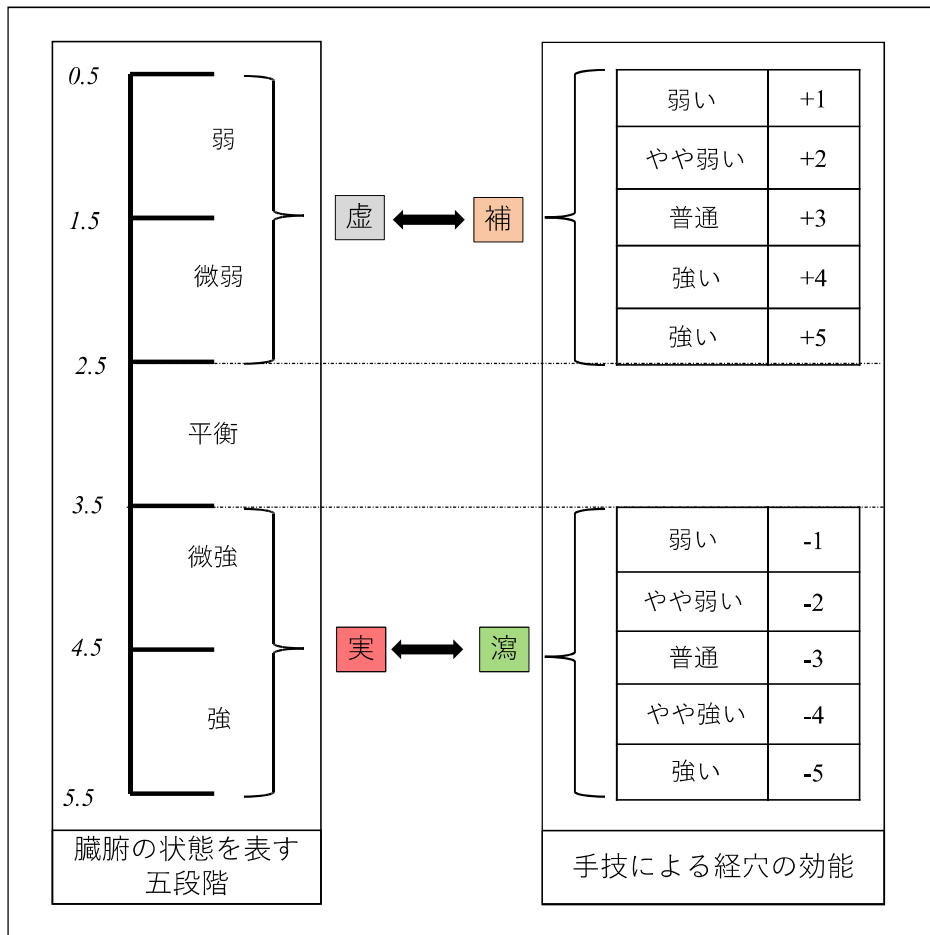


図 4.2: 「虚実補瀉」の対応図

表 4.1: 経穴一臓腑の関係 (心包経の経穴の部分)

手の厥陰心包経 The Pericardium Meridian of Hand-Jueyin											
WHO記号 International Notation	経穴名 Name	肝 Liver	心 Heart	脾 Spleen	肺 Lung	腎 Kidney	胆 Gallbladder	小腸 Small Intestine	胃 Stomach	大腸 Large Intestine	膀胱 Urinary Bladder
PC1	天池 Tianchi		○								
PC2	天泉 Tianquan		○		○						
PC3	曲沢 Quze		○						○		
PC4	郄門 Ximen		○								
PC5	間使 Jianshi		○								
PC6	内関 Neiguan		○						○		
PC7	大陵 Daling		○								
PC8	劳宮 Laogong		○								
PC9	中衝 Zhongchong		○								

### 4.2 経穴の効能による臓腑状態値への影響

東洋医学における鍼灸治療では、治療師の手技によって、経穴の効能を決め、適切な治療を行う。即ち、経穴の効能は治療師の手技による結果である。当然ながら、経穴を刺さない場合には、経穴の効能は表れない。経穴を刺すと、経穴からの刺激が臓腑に流れ、影響を与える。本論文では、手技による経穴の効能の決定を図 4.3 のように考え、経穴の効能が臓腑への影響を図 4.4 のよう考えている。それに対する式 (4) と式 (5) を提案する。

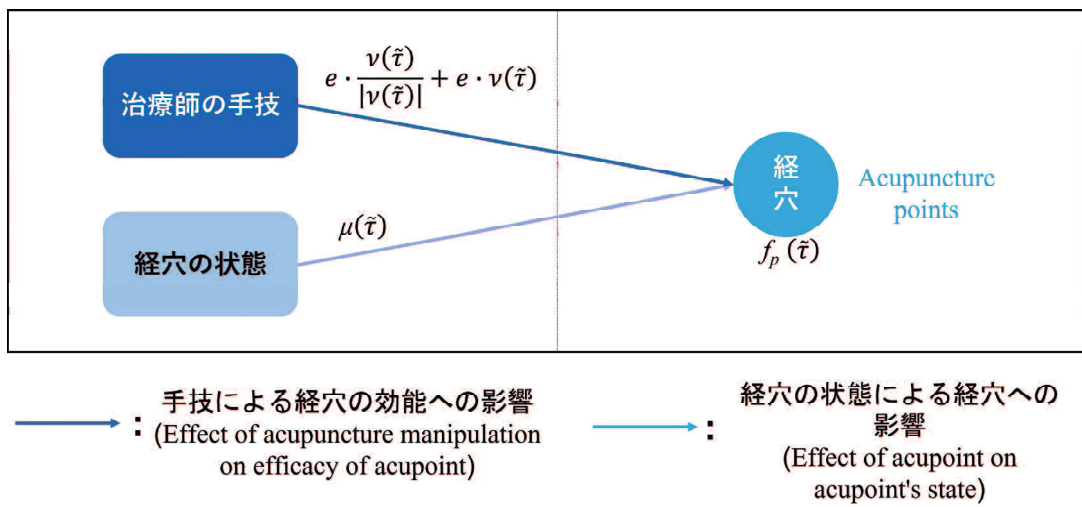


図 4.3: 手技による経穴の効能の決定

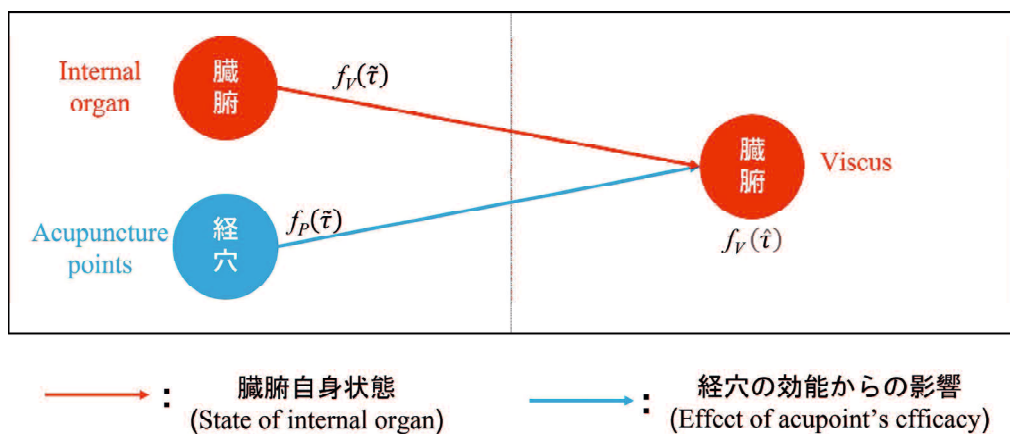


図 4.4: 経穴の効能が臓腑への影響

$$f_p(\tilde{\tau}) = \mu(\tilde{\tau}) \cdot \left( e \cdot \frac{\nu(\tilde{\tau})}{|\nu(\tilde{\tau})|} + e \cdot \nu(\tilde{\tau}) \right) \quad (4)$$

$$f_V(\hat{\tau}) = f_V(\tilde{\tau}) + w \cdot f_p(\tilde{\tau}) \quad (5)$$

式 (4) では,  $f_p$  は, 経穴の刺激の値 (いわゆる, 手技による経穴の効能) である.  $\mu$  は, 経穴の状態を表し, 経穴を刺す時が  $\mu = 1$ , 経穴を刺さない時が  $\mu = 0$  である.  $\nu$  は, 経穴に対する手技を表す. 「補」の時に  $\nu$  は正の整数であり,  $\nu \in [+1, +5]$  である. 「瀉」の時に  $\nu$  は負の整数であり,  $\nu \in [-5, -1]$  である.  $e$  はパラメータであり, 手技による刺激の値に与える影響の度合いを表す.

式 (5) では,  $f_V$  は臓腑の状態である.  $w$  はパラメータであり, 刺激の値が臓腑に与える影響の度合いを表す.  $\hat{\tau}$ ,  $\tilde{\tau}$  は時間であり,  $\hat{\tau} > \tilde{\tau}$  が成り立つ.

### 4.3 経脈と経穴を含むモデルの提案

ここでは, 4.2 で提案した式 (4) と式 (5) に基づき, 1 つの経穴と単体臓腑のつながりを表現するモデルを図 4.5 で示す. 図 4.5 に対応の CPN 式は以下の通りである.

$$CPN = (\Sigma, P, T, F, V, C, G, E, M_0)$$

$$\Sigma: \Sigma = \{REAL\};$$

$$P: P = \{P_{z-i}, P_{z-s}, P_p, P_s, P_t\};$$

$$T: T = \{T_{z-s}, T_m, T_s\};$$

$$F: F = \{(P_{z-i}, T_{z-s}), (T_{z-s}, P_{z-s}), (P_{z-s}, T_m), (T_m, P_{z-i}), (P_p, T_m), (T_s, P_p), (T_s, P_s), (P_s, T_s), (P_t, T_s), (T_s, P_t)\};$$

$$V: V = \{n, Hp, H, p, PC1, PC1_s, PC1_t\};$$

$$C_{P_{z-i}} = C_{P_{z-s}} = C_{P_p} = C_{P_s} = C_{P_t} = REAL;$$

$$G: \forall t \in T, G(t) = True, \text{ expression of } T_s : [PC1 = PC1_s * (e + e * PC1_t)],$$

$$\text{expression of } T_{zf} : [Hp = H + w * p];$$

$$E: E_{(P_{z\_i}, T_{z\_s})} = E_{(T_{z\_s}, P_{z\_s})} = n, E_{(P_{z\_s}, T_m)} = H, E_{(T_m, P_{z\_i})} = Hp, E_{(P_p, T_m)} = p,$$

$$E_{(T_s, P_p)} = PC1, E_{(T_s, P_s)} = E_{(P_s, T_s)} = PC1\_s, E_{(P_t, T_s)} = E_{(T_s, P_t)} = PC1\_t;$$

$$M_0: M_0(P_{z\_i}) = M_0(P_{z\_s}) = M_0(P_p) = M_0(P_s) = M_0(P_t) = \emptyset$$

図 4.5 では、 $P_s$  は式 (4) の  $\mu$  に対応し、1 個のトークンを持っている。トークンの値は経穴の状態を表している。 $P_t$  は、式 (4) の  $\nu$  に対応し、経穴に対する手技を表しており、1 個のトークンを持っている。 $P_p$  は、式 (4) の  $f_p(\hat{\tau})$  に対応し、持っているトークンの値が刺激の値である。 $T_s$  で式 (4) を計算し、その結果が  $P_p$  に流れる。 $P_{z\_s}$  は、式 (5) の  $f_V(\hat{\tau})$  に対応し、時刻  $\hat{\tau}$  の臓腑の状態値を表す。 $P_{z\_i}$  は式 (5) の  $f_V(\hat{\tau})$  に対応し、時刻  $\hat{\tau}$  の臓腑の状態値を表す。 $T_m$  で、式 (5) を計算し、その結果が  $P_{z\_i}$  に流れる。

なお、CPN Tools の記述制約により、図 4.5 における式 (4) の左辺を変数  $PC1$ 、右辺の  $\mu(\hat{\tau}) \cdot (e \cdot \frac{\nu(\hat{\tau})}{|\nu(\hat{\tau})|} + e \cdot \nu(\hat{\tau}))$  を  $PC1\_s * (e * (PC1\_t / abs(PC1\_t)) + e * PC1\_t)$  で記述する。式 (5) の左辺を変数  $Hp$ 、右辺の  $f_V(\hat{\tau}) + w \cdot f_p(\hat{\tau})$  を  $H + w * p$  で記述する。

この構築法を用いて、心包経に属する九つの経穴を構築すると、図 4.6 のようなモデルができる。

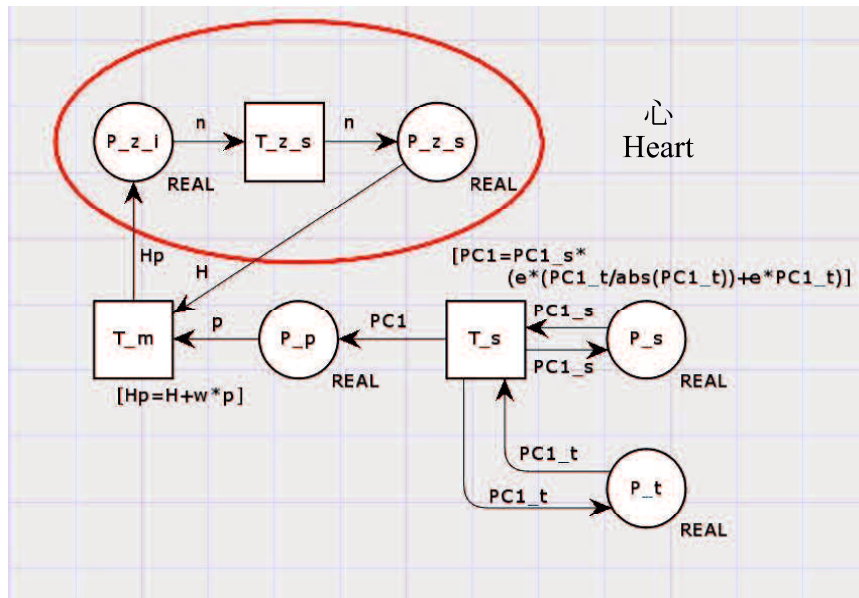


図 4.5: 経穴を表すモデルの構造

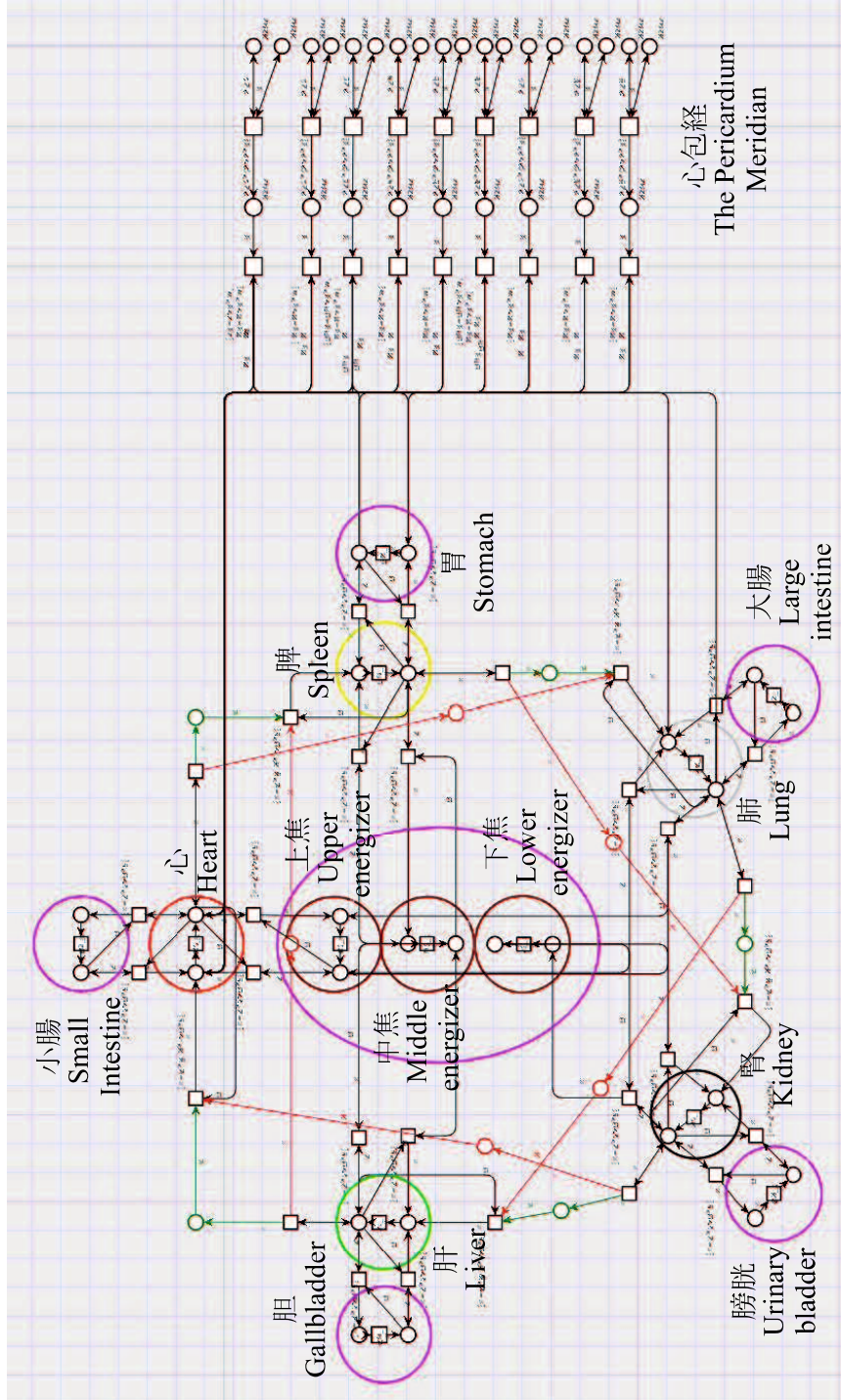


図 4.6: 五臓六腑と心包経のモデル



#### 4.4 五臓六腑と経脈・経穴のモデルの構築

ここでは、4.3の方法を用いて、人体の409個の経穴を構築する。しかしながら、すべての要素を1つのネット上に配置すると、PNの規模が膨大になり、見にくくなる。そのため、本論文では、CPN Toolsの階層化機能を利用し、CPNモデルを見やすくする。具体的には、まず、各経脈の経穴を構築した後、経脈を単位として階層化を行う。奇穴は経脈に属していないが、EXという名をつけ、階層化を行う。また、経脈・経穴モデルと五臓六腑モデルをつなげるために、橋渡し部分であるインターフェースを構築する。インターフェースを加えた五臓六腑と経脈・経穴のモデルの構想を図4.7に示す。

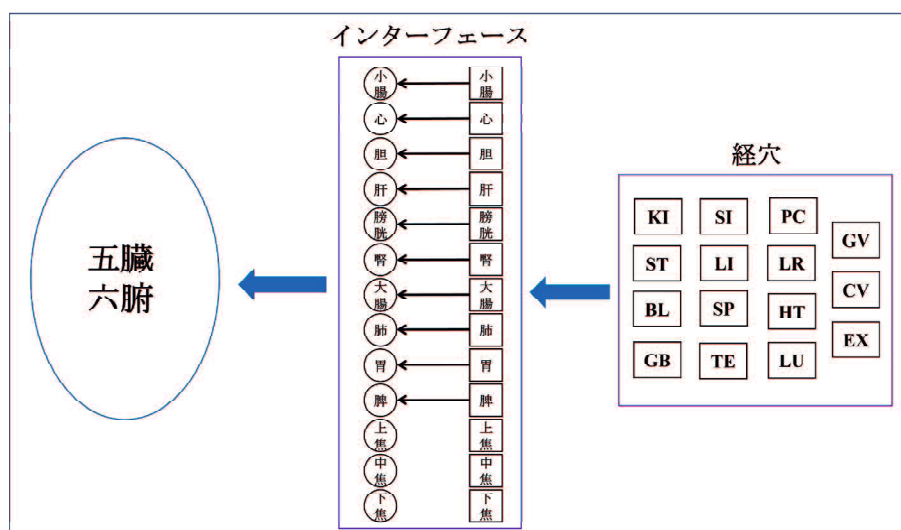


図 4.7: 五臓六腑と経脈・経穴のモデルの構想図

インターフェースは、各経脈・経穴からの刺激を足し、結果を五臓六腑に渡す。例えば、図4.7のインターフェースで、心に対するトランジション(□)とプレース(○)は、KIやSIなどの経穴から心への刺激を足して、結果を心に渡す。なお、経穴は三焦に直接的な影響を与えないため、三焦に対応する部分のプレースとトランジションはアークでつないでいない。

モデルの階層化をするについては、図4.6のモデルを階層化し、図4.8のようにする。同様に他の経穴も構築し、図4.9の右側のように階層化する。その後、インターフェースを構築する。構築したインターフェースは、図4.9の左側に示す。インターフェースを加えた五臓六腑と経脈・経穴モデルは、図4.10のようになる。

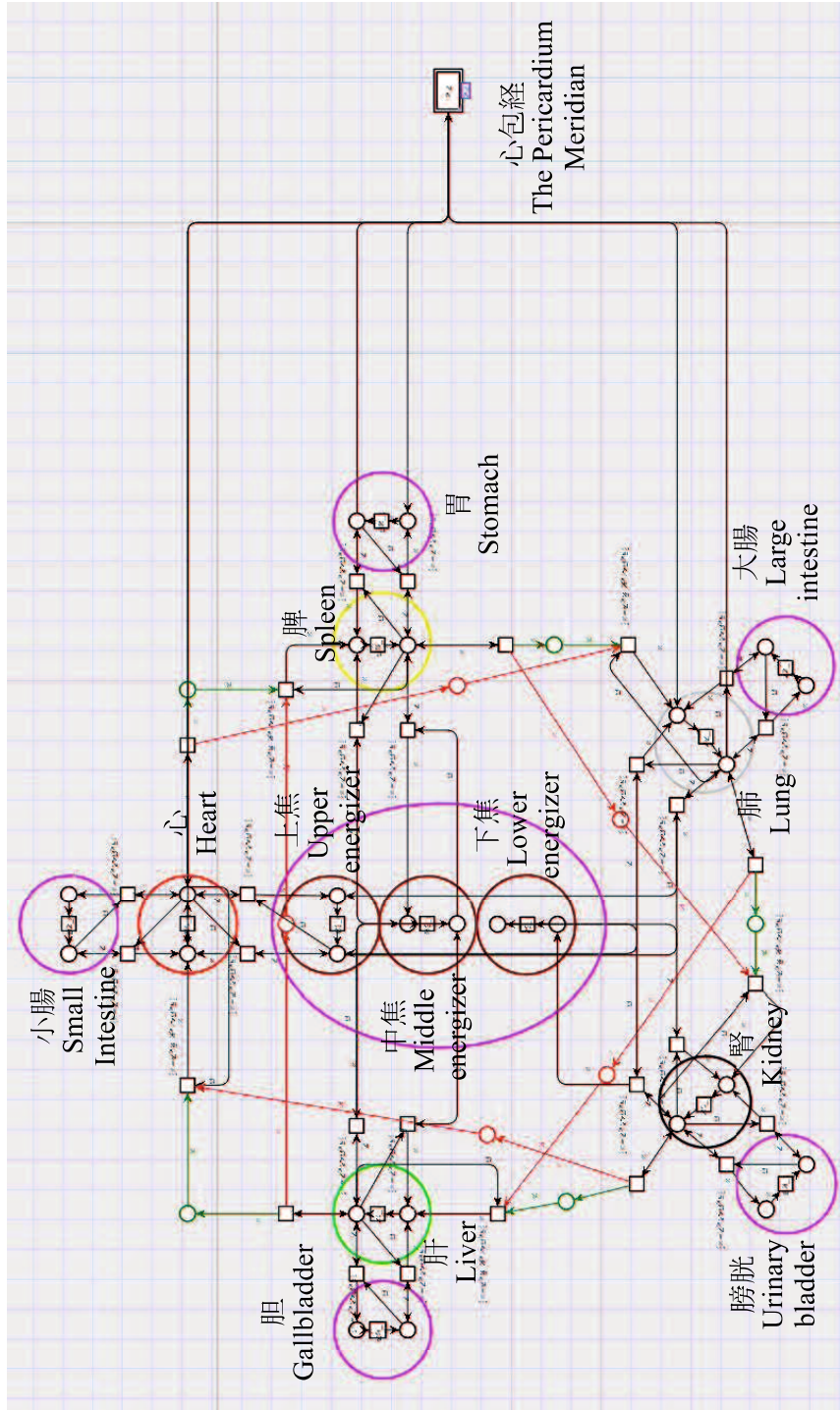


図 4.8: 五臓六腑と心包経のモデル (階層化後)

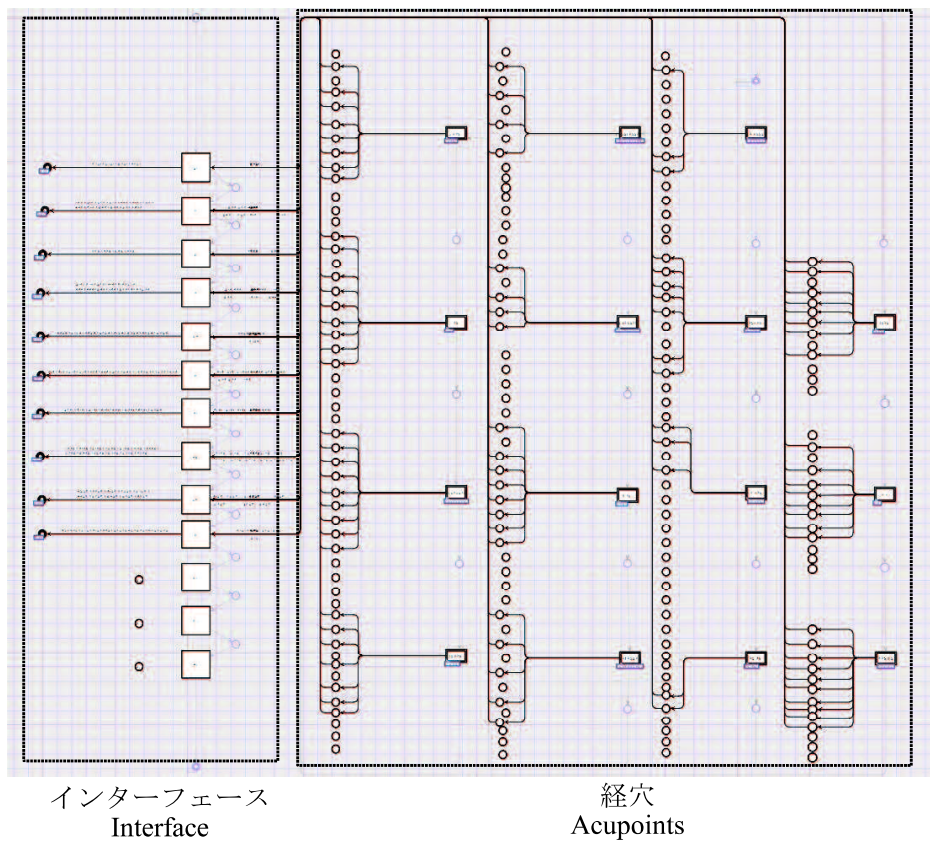


図 4.9: 構築した経脈・経穴とインターフェース



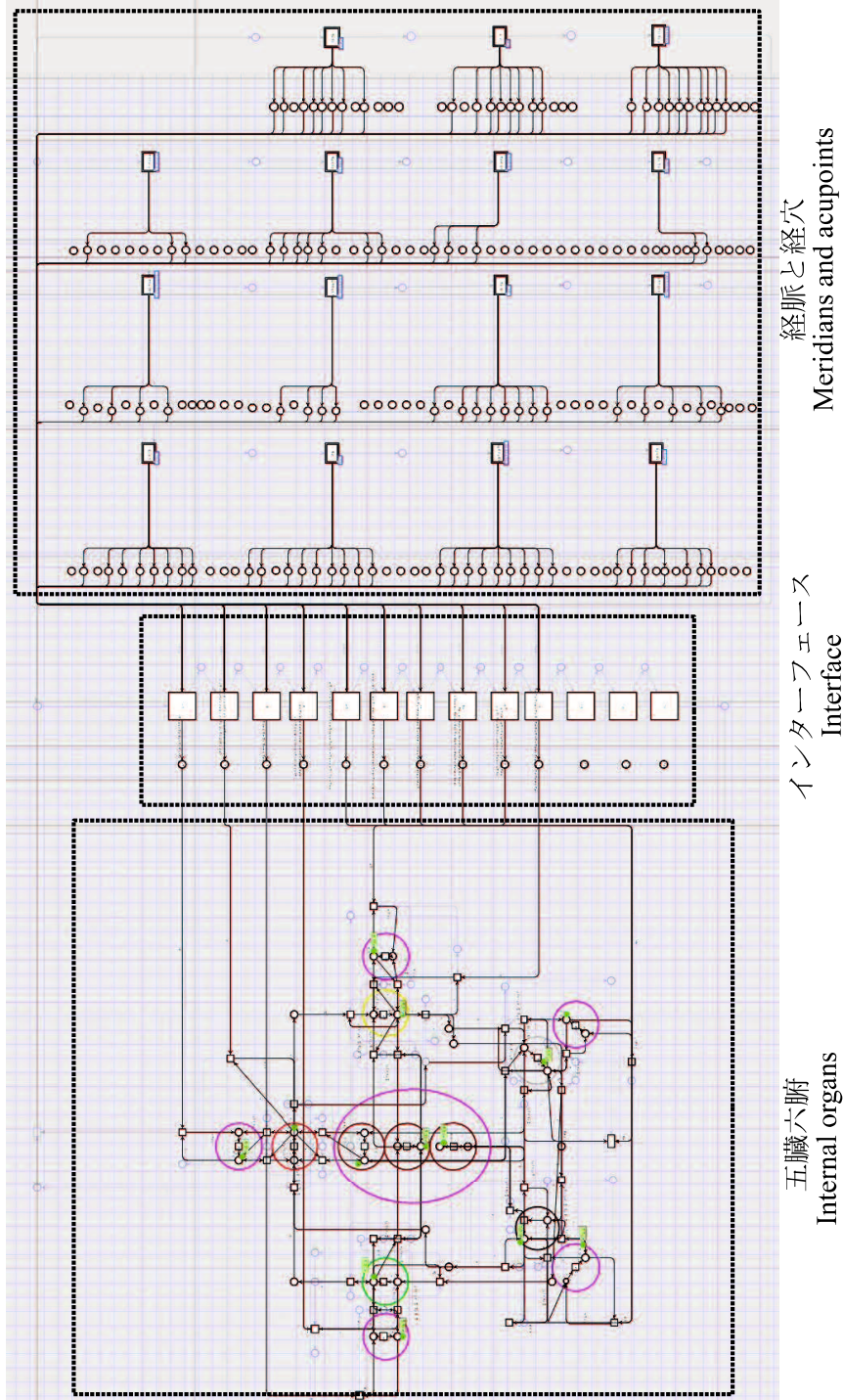


図 4.10: 五臓六腑と経脈・経穴モデル

## 第5章 気・血・津液を加えたモデルの提案

本章では、東洋医学における構成要素である気・血・津液に関する計算式を提案し、モデルを構築する。

まず、東洋医学における気・血・津液と五臓六腑の関係をまとめ、「化生」・「輸送」と「臓腑の新陳代謝」の計算式を提案する。そして、計算式を含む CPN モデルの構築法を提案する。次に、構築した気・血・津液のモデルを五臓六腑と経脈・経穴モデルに追加することにより、人体モデルを構築する。最後、CPN Tools の階層化を用いて、モデルを見やすくすることにより、人体モデルを完成させる。

## 5.1 気・血・津液と三焦

2.1.5 で述べたように、東洋医学における気・血・津液は、臓腑の生理機能によって、空気と飲食物の栄養から作られるものであり、人体の生命活動を維持するための代謝物質である。東洋医学では、気・血・津液が重要な位置を占めている。それぞれが順調に作られ、全身を滞ることなく循環すれば、健康な体となる [32, 31]。気・血・津液を作ることは「化生」、人体の臓腑などに送ることは「輸送」、代謝した老廃物を外部に出すことは「排泄」、と呼ばれている [54]。また、東洋医学では、気・血・津液と三焦の関係は深いと考えられている。中焦は気・血・津液が化生する場所であり、上焦は全身に輸送する通路であり、下焦は人体が代謝した老廃物を排泄する通路である [32, 54]。人体の臓腑などは気・血・津液を吸収し、それぞれの健康を保ちながら、生命活動を維持すると考えられている [32, 31]。本論文では、この過程を「新陳代謝」と呼ぶ。

人体には、気・血・津液の化生・輸送・排泄が存在しているが、「化生」と「輸送」に比べ、「排泄」は臓腑への影響が小さいため、本論文で「排泄」の過程は扱わないこととする。さらに、本論文で構築するモデルは五臓六腑と経脈・経穴のみであるため、輸送先と新陳代謝を行うところを五臓五腑とする。また、全体の計算式に関する計算順は「相生相克」⇒「表裏関係」⇒「経穴からの影響」⇒「気・血・津液の化生・輸送および臓腑の新陳代謝」とする。

本論文では、文献 [32, 31] に基づいて、気・血・津液の化生・輸送に関わる臓腑を表 5.1 に示した。表 5.1 では、気・血・津液の化生・輸送に関わる臓腑を示している。例えば、気の場合は、「脾・肺・腎・胃の働きによって、中焦で化生される」、「心・脾・肺・腎の働きによって、上焦を通路として全身に輸送される」ということを示している。

東洋医学では、気・血・津液については、量の不足（気虚など）と巡りの不良（気滞など）という異常状態はあるが、量の過剰という異常状態はないといわれている [32, 31]。これに基づいて、本論文では、気・血・津液の状態（即ち、気・血・津液の量）を図 5.1 のように、不足・やや不足・正常の三段階で表すこととする。

表 5.1: 気・血・津液の化生・輸送と五臓六腑の関係

	化生に関わる臓腑	化生の場所	輸送に関わる臓腑	輸送の通路	効能
気	脾, 肺, 腎, 胃	中焦	心, 脾, 肺, 腎	上焦	生命活動を維持する
血	肝, 心, 脾, 肺, 腎, 胃		肝, 心, 脾, 肺		
津液	脾, 胃, 小腸, 大腸		肝, 心, 脾, 肺, 腎, 胃, 小腸, 小腸		



図 5.1: 気・血・津液の量を表す三段階

## 5.2 気・血・津液の量および臓腑状態値の推定

気・血・津液は、人体に摂取された空気と飲食物から、関係する臓腑の働きによって、中焦で化生される。言い換えれば、人体で化生した気・血・津液の量は共に、「1. 外部から吸収した空気と水穀の量」、「2. 関係臓腑の働き」、「3. 中焦の状態」という 3 つの要素で決定される。この 3 つの要素の中で、どれかが不調になれば、化生したものの量が減ることになる。そして、中焦で化生した気・血・津液は、関係臓腑の働きによって、上焦を通路として、臓腑に輸送される。即ち、臓腑まで輸送されてきた気・血・津液の量に関する要素は、「4. 化生した量」、「5. 輸送先の数」、「6. 関係臓腑の働き」、「7. 上焦の状態」である。さらに、新陳代謝は臓腑が気・血・津液を吸収し、自分自身の損失量を補充することで、健康の状態を維持していることである。即ち、新陳代謝に関する要素は、「8. 損失」と「9. 気・血・津液の吸収」である。本論文では、気・血・津液の化生を式 (6)、輸送を式 (7)、臓腑の新陳代謝を式 (8)、と提案する。式

(6)-(8) では、気・血・津液の化生・輸送の終了時刻を  $\hat{\tau}$ 、新陳代謝の終了時刻を  $\tau$  とする。

$$f_i(\hat{\tau}) = f_{i\_normal} \cdot \frac{(n \cdot h) - |\sum_{j \in O} f_j(\hat{\tau}) - (n \cdot h)|}{n \cdot h} \cdot \frac{h - |f_{me}(\hat{\tau}) - h|}{h} \quad (6)$$

$$f_{i\_V}(\hat{\tau}) = \frac{f_i(\hat{\tau})}{v} \cdot \frac{(n \cdot h) - |\sum_{j \in O} f_j(\hat{\tau}) - (n \cdot h)|}{n \cdot h} \cdot \frac{h - |f_{ue}(\hat{\tau}) - h|}{h} \quad (7)$$

$$f_V(\tau) = f_V(\hat{\tau}) \cdot m + [f_{q\_V}(\hat{\tau}) \cdot q + f_{b\_V}(\hat{\tau}) \cdot b + f_{l\_V}(\hat{\tau}) \cdot l] \quad (8)$$

式 (6) では、 $f_i$  は気 ( $f_q$ )・血 ( $f_b$ )・津液 ( $f_l$ ) のいずれかの状態値を表す。 $f_{i\_normal}$  は、「1. 外部から吸収した量」を表す。本論文では、常に  $f_{i\_normal} = 3$  とする。 $n$  は関係臓腑の総数、 $h$  は関係臓腑が健康時の状態値 ( $h = 3.0$ )、 $\sum_{j \in O} f_j$  は関係臓腑の総状態値、 $O$  はこの過程に関係臓腑の集合である。よって、 $\frac{(n \cdot h) - |\sum_{j \in O} f_j - (n \cdot h)|}{n \cdot h}$  は、臓腑の健康度（健康状態の割合）を表し、「2. 関係臓腑の働き」と対応している。 $f_{me}$  が中焦、 $\frac{h - |f_{me} - h|}{h}$  は、中焦の健康度（健康状態の割合）であり、「3. 中焦の状態」と対応している。この式は、気・血・津液の化生は、3 つの要素で決定されることを示している。例えば、気の化生の関係臓腑の脾の働きが弱く ( $f_{脾} = 1.0$ )、他の臓腑および中焦が正常 ( $f_{肺} = f_{腎} = f_{胃} = f_{me} = 3.0$ ) であれば、 $f_{normal} = 3$ 、 $n = 4$ 、 $h = 3.0$ 、 $\sum_{j \in O} f_j(\hat{\tau}) = f_{脾} + f_{肺} + f_{腎} + f_{胃} = 10$  となり、化生した気の量は少なくなる ( $f_q = 2.5$ )。

式 (7) では、 $f_{i\_V}$  は、臓腑まで輸送されてきた気・血・津液の量、 $f_i$  は「4. 化生した量」との対応、 $v$  は「5. 輸送先の数」である。輸送先の五臓五腑の総数は 10 であるため、 $v = 10$  である。 $\frac{f_i}{v}$  は化生したものを輸送先の数分で均等分割した値、 $\sum_{j \in O} f_j$  は関係臓腑の総状態値、 $O$  はこの過程の関係臓腑の集合、 $f_{ue}$  は上焦を表す。 $\frac{(n \cdot h) - |\sum_{j \in O} f_j - (n \cdot h)|}{n \cdot h}$  は関係臓腑の健康度（「6. 関係臓腑の働き」と対応）を表しており、 $\frac{h - |f_{ue} - h|}{h}$  は上焦の健康度（「7. 上焦の状態」と対応）である。



この式は、臓腑までの気・血・津液の輸送は、3つの要素で決定されることを示している。例えば、気の輸送の関係臓腑の心の働きが弱く ( $f_{\text{心}} = 1.0$ )、気の化生、他の臓腑と上焦が正常 ( $f_{\text{脾}} = f_{\text{肺}} = f_{\text{腎}} = f_{\text{ue}} = 3.0$ ) であれば、 $\frac{f_i(\hat{\tau})}{v} = 0.3$ 、 $n = 4$ 、 $h = 3.0$ 、 $\sum_{j \in O} f_j(\hat{\tau}) = f_{\text{心}} + f_{\text{脾}} + f_{\text{肺}} + f_{\text{腎}} = 10$  となり、臓腑まで輸送した気の量は少なくなる ( $f_{i-q} = 0.25$ )。

式 (8) では、 $f_V$  は臓腑の状態値、 $f_{q-V}$ 、 $f_{b-V}$ 、 $f_{l-V}$  は臓腑に輸送した気・血・津液の量、 $m$ 、 $q$ 、 $b$ 、 $l$  がパラメータである。ただし、 $q$  は気の量が臓腑に与える影響の度合い、 $b$  は血の量が臓腑に与える影響の度合い、 $l$  は津液の量が臓腑に与える影響の度合い、 $m$  は新陳代謝の度合い (損失量) である。 $f_V \cdot m$  は臓腑の新陳代謝による損失を引いたものであり、「8. 臓腑の損失量」と対応している。 $[f_{q-V} \cdot q + f_{b-V} \cdot b + f_{l-V} \cdot l]$  は「9. 気・血・津液の吸収」を示している。この式は、臓腑の新陳代謝は2つの要素で決定されることを示している。気・血・津液の化生と輸送が正常であれば、「臓腑の損失」と「気・血・津液の吸収」のバランスが取れ、健康状態が維持される。

式 (6)-(8) によって、「気・血・津液の化生・輸送は臓腑との関係が深い」、「中焦は気・血・津液が化生する場所であり、上焦は全身に輸送する通路である」、「臓腑が気・血・津液を吸収し、それぞれの健康を保つ」ことが明らかである。

### 5.3 モデル構築法の提案

ここでは、CPN Tools を用いて、気・血・津液の化生・輸送および臓腑の新陳代謝を表現する CPN モデルを構築する。気を例として、気の化生の過程を図 5.2 のように示しており、対応の CPN の九項組式は以下の通りである。

$$CPN = (\Sigma, P, T, F, V, C, G, E, M_0)$$

$$\Sigma: \Sigma = \{REAL\};$$

$$P: P = \{p_{out}, p_{sp}, p_{lun}, p_{kin}, p_{sto}, p_q, p_{me}\};$$

$$T: T = \{t_{make}\};$$

$$F: F = \{(p_{out}, t_{make}), (p_{sp}, t_{make}), (t_{make}, p_{sp}), (p_{lun}, t_{make}), (t_{make}, p_{lun}), (p_{kin}, t_{make}),$$

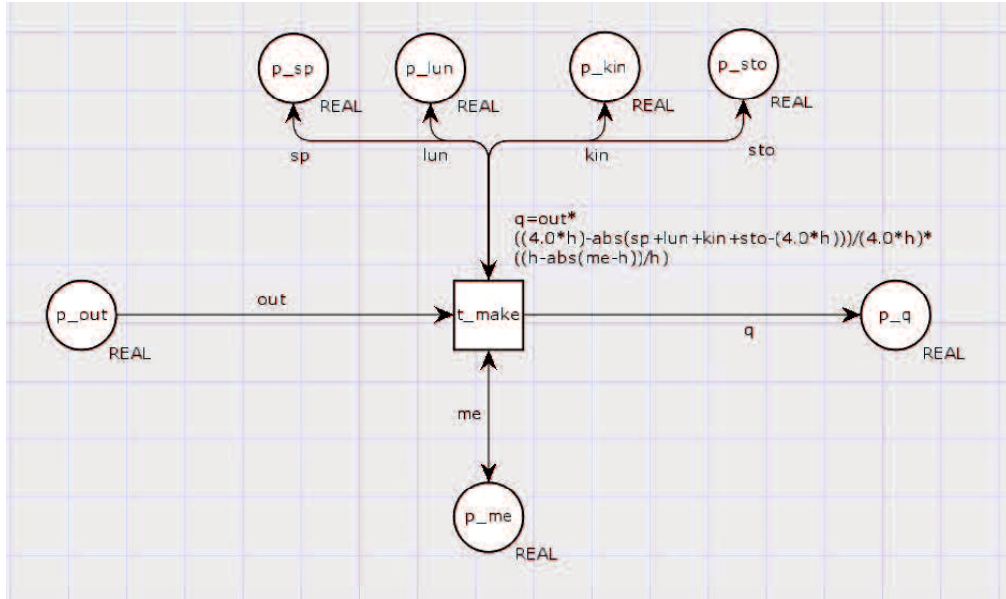


図 5.2: 気の化生

$$(t_{make}, p_{kin}), (p_{sto}, t_{make}), (t_{make}, p_{sto}), (t_{make}, p_q), (p_{me}, t_{make}), (t_{make}, p_{me})\};$$

$$V : V = \{out, sp, lun, kin, sto, q, me\};$$

$$C_{p_{out}} = C_{p_{sp}} = C_{p_{lun}} = C_{p_{kin}} = C_{p_{sto}} = C_{p_q} = C_{p_{me}} = REAL;$$

$$G: \forall t \in T, G(t) = True, \text{ expression of } t_{make} :$$

$$[q = out * ((4.0 * h) - abs(sp + lun + kin + sto - (4.0 * h))) / 4.0 * h * ((h - abs(me - h)) / h)];$$

$$E: E_{(p_{out}, t_{make})} = out, E_{(p_{sp}, t_{make})} = sp, E_{(t_{make}, p_{sp})} = sp, E_{(p_{lun}, t_{make})} = lun,$$

$$E_{((t_{make}, p_{lun})} = lun, E_{(p_{kin}, t_{make})} = kin, E_{(t_{make}, p_{kin})} = kin, E_{(p_{sto}, t_{make})} = sto,$$

$$E_{(t_{make}, p_{sto})} = sto, E_{(t_{make}, p_q)} = q, E_{(p_{me}, t_{make})} = me, E_{(t_{make}, p_{me})} = me,$$

$$M_0: M_0(p_{out}) = M_0(p_{sp}) = M_0(p_{lun}) = M_0(p_{kin}) = M_0(p_{sto}) = M_0(p_q) = M_0(p_{me}) = \emptyset;$$

図 5.2 において,  $p_{out}$  は外部の空気と水穀を表しており, 1 個のトークンを持ち, トークンの値がその量 (前述のように 3.0 とする) を表す. 気の化生に関わる臓腑の脾・肺・腎・胃を  $p_{sp} \cdot p_{lun} \cdot p_{kin} \cdot p_{sto}$ , 気の化生の場所である中焦を  $p_{me}$ , と表し, それぞれに 1 個のトークンを置き, トークンの値が臓腑の状態値を表す. 化生した気を  $p_q$ , 化生することを  $t_{make}$ , と表現する.  $t_{make}$  の

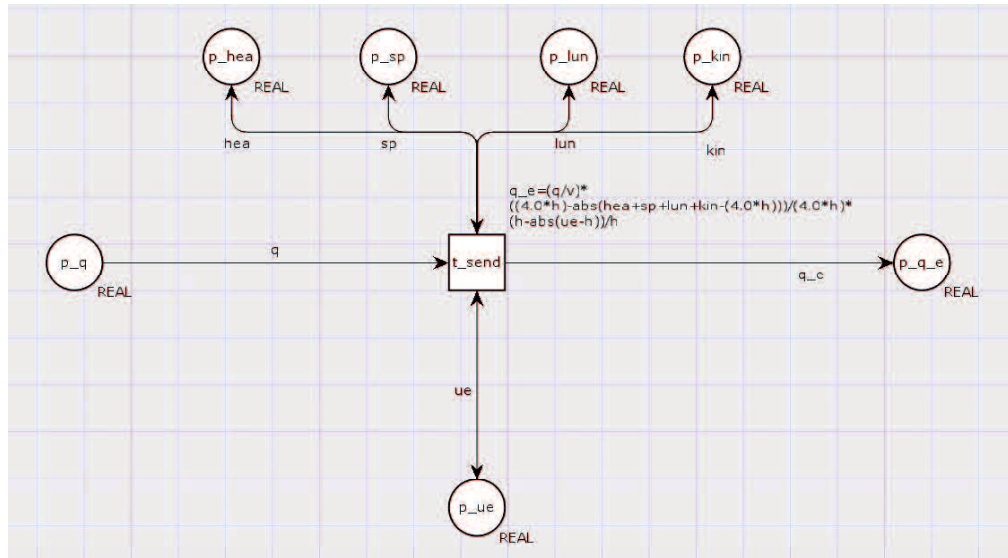


図 5.3: 臓腑まで気の輸送

発火によって，式 (6) の計算が行われる． $f_{q\_normal}$  が  $out$ ， $n$  が  $4.0$ ， $\sum_{j \in O} f_j = f_{脾} + f_{肺} + f_{腎} + f_{胃}$  が  $sp + lun + kin + sto$ ， $f_{me}$  が  $me$ ， $f_q$  が  $q$ ，にそれぞれ対応している．なお，CPN Tools の記述制約により，図 5.2 における式 (6) の左辺を変数  $q$ ，右辺の  $f_{i\_normal} \cdot \frac{(n \cdot h) - |\sum_{j \in O} f_j(\hat{\tau}) - (n \cdot h)|}{n \cdot h}$  を  $q = out * ((4.0 * h) - abs(sp + lun + kin + sto - (4.0 * h))) / 4.0 * h * ((h - abs(me - h)) / h)$  で記述する．

気は，化生した気を心・脾・肺・腎の動きによって，上焦を通路として全身に輸送される．図 5.3 は気の輸送の過程をモデル化したものであり，対応の CPN の九項組式は以下の通りである．

$$CPN = (\Sigma, P, T, F, V, C, G, E, M_0)$$

$$\Sigma: \Sigma = \{REAL\};$$

$$P: P = \{p_q, p_{hea}, p_{sp}, p_{lun}, p_{kin}, p_{q\_e}, p_{ue}\};$$

$$T: T = \{t_{send}\};$$

$$F: F = \{(p_q, t_{send}), (p_{hea}, t_{send}), (t_{send}, p_{hea}), (p_{sp}, t_{send}), (t_{send}, p_{sp}), (p_{lun}, t_{send}), (t_{send}, p_{lun}), (p_{kin}, t_{send}), (t_{send}, p_{kin}), (t_{send}, p_{q\_e}), (p_{ue}, t_{send}), (t_{send}, p_{ue})\};$$

$$V: V = \{q, hea, sp, lun, kin, q\_e, ue\};$$

$$C_{p_q} = C_{p_{hea}} = C_{p_{sp}} = C_{p_{lun}} = C_{p_{kin}} = C_{p_{q-e}} = C_{p_{ue}} = REAL;$$

$$G: \forall t \in T, G(t) = True,$$

$$\text{expression of } t_{make} : [q-e = (q/v) * ((4.0 * h) - abs(hea + sp + lun + kin - (4.0 * h))) / (4.0 * h) * (h - abs(ue - h)) / h];$$

$$E: E_{(p_q, t_{send})} = q, E_{(p_{hea}, t_{send})} = hea, E_{(t_{send}, p_{hea})} = hea, E_{(p_{sp}, t_{send})} = sp,$$

$$E_{(t_{send}, p_{sp})} = sp, E_{(p_{lun}, t_{send})} = lun, E_{(t_{send}, p_{lun})} = lun, E_{(p_{kin}, t_{send})} = kin,$$

$$E_{(t_{send}, p_{kin})} = kin, E_{(t_{send}, p_{q-e})} = q-e, E_{(p_{ue}, t_{send})} = ue, E_{(t_{send}, p_{ue})} = ue,$$

$$M_0: M_0(p_q) = M_0(p_{hea}) = M_0(p_{sp}) = M_0(p_{lun}) = M_0(p_{kin}) = M_0(p_{q-e}) = M_0(p_{ue}) = \emptyset;$$

図 5.3 では、化生した気を  $p_q$ 、気の輸送に関わる臓腑の心・脾・肺・腎を  $p_{hea}$ ,  $p_{sp}$ ,  $p_{lun}$ ,  $p_{kin}$ 、気の輸送の通路である上焦を  $p_{ue}$ 、と表現し、それぞれに 1 個のトークンを置き、トークンの値は臓腑の状態値を表す。輸送先を  $p_{q-e}$ 、輸送することを  $t_{send}$ 、と表現する。  $t_{send}$  の発火によって、式 (7) の計算が行われる。  $f_q$  は  $q$ 、  $v$  は常に 10.0、  $\sum_{j \in O} f_j = (f_{心} + f_{脾} + f_{肺} + f_{腎})$  は  $hea + sp + lun + kin$ 、  $f_{o_e}$  は  $ue$ 、  $f_{ue}$  は  $q_e$ 、 にそれぞれ対応している。なお、CPN Tools の記述制約により、図 5.3 における式 (7) の左辺を変数  $q-e$ 、右辺の  $\frac{f_i(\hat{\tau})}{v} \cdot \frac{(n \cdot h) - |\sum_{j \in O} f_j(\hat{\tau}) - (n \cdot h)|}{n \cdot h} \cdot \frac{h - |f_{ue}(\hat{\tau}) - h|}{h}$  を  $(q/v) * ((4.0 * h) - abs(hea + sp + lun + kin - (4.0 * h))) / (4.0 * h) * (h - abs(ue - h)) / h$  で記述する。

図 5.4 は、臓腑が気・血・津液を吸収し、新陳代謝することをモデル化したものである。臓腑単体モデルの構造は図 3.4 の方法と同様である。対応の CPN の九項組式は以下の通りである。

$$CPN = (\Sigma, P, T, F, V, C, G, E, M_0)$$

$$\Sigma: \Sigma = \{REAL\};$$

$$P: P = \{p_{q-e}, p_{b-e}, p_{l-e}, p_{in}, p_{state}\};$$

$$T: T = \{t_m, t_{state}\};$$

$$F: F = \{(p_{q-e}, t_m), (p_{b-e}, t_m), (p_{l-e}, t_m), (t_m, p_{in}), (p_{state}, t_m), (p_{in}, t_{state}), (t_{state}, p_{state})\};$$

$$V: V = \{q-e, b-e, l-e, hea, hea_m, n\};$$

$$C_{p_{q-e}} = C_{p_{b-e}} = C_{p_{l-e}} = C_{p_{in}} = C_{p_{state}} = REAL;$$

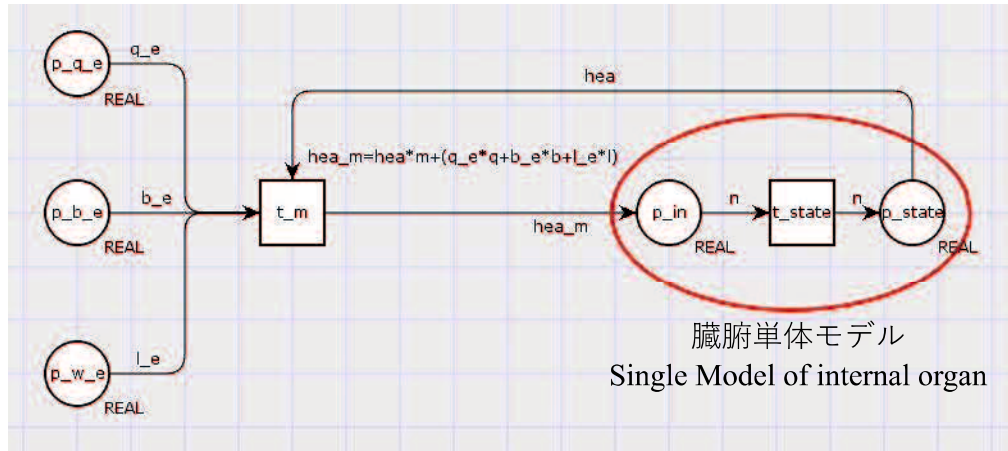


図 5.4: 臓腑の新陳代謝

$G: \forall t \in T, G(t) = True,$

expression of  $t_m$  :  $[hea\_m = hea * m + (q\_e * q + b\_e * l\_e * l)];$

$E: E_{(p_{q\_e}, t_m)} = q\_e, E_{(p_{b\_e}, t_m)} = b\_e, E_{(p_{l\_e}, t_m)} = l\_e, E_{(t_m, p_{in})} = hea\_m,$

$E_{(p_{state}, t_m)} = hea, E_{(p_{in}, t_{state})} = n, E_{(t_{state}, p_{state})} = n;$

$M_0: M_0(p_{q\_e}) = M_0(p_{b\_e}) = M_0(p_{l\_e}) = M_0(p_{in}) = M_0(p_{state}) = \emptyset;$

図 5.4 では、臓腑まで輸送された気を  $p_{q_e}$ 、血を  $p_{b_e}$ 、津液を  $p_{l_e}$ 、と表現する、 $t_m$  の発火によって、式 (8) の計算が行われる。  $f_V(\tau)$  は  $hea\_m$ 、  $f_V(\hat{\tau})$  は  $hea$ 、  $f_{q_V}(\hat{\tau})$  は  $q_e$ 、  $f_{b_V}(\hat{\tau})$  は  $b_e$ 、  $f_{l_V}(\hat{\tau})$  は  $l_e$ 、 にそれぞれ対応している。なお、CPN Tools の記述制約により、図 5.4 における式 (8) の左辺を変数  $hea\_m$ 、右辺の  $f_V(\hat{\tau}) \cdot m + [f_{q_V}(\hat{\tau}) \cdot q + f_{b_V}(\hat{\tau}) \cdot b + f_{l_V}(\hat{\tau}) \cdot l]$  を  $hea * m + (q_e * q + b_e * l_e * l)$  で記述する。

図 5.2-図 5.4 の方法を統合し、図 5.5 のような気・血・津液の化生・輸送および臓腑の新陳代謝のモデルを構築した。

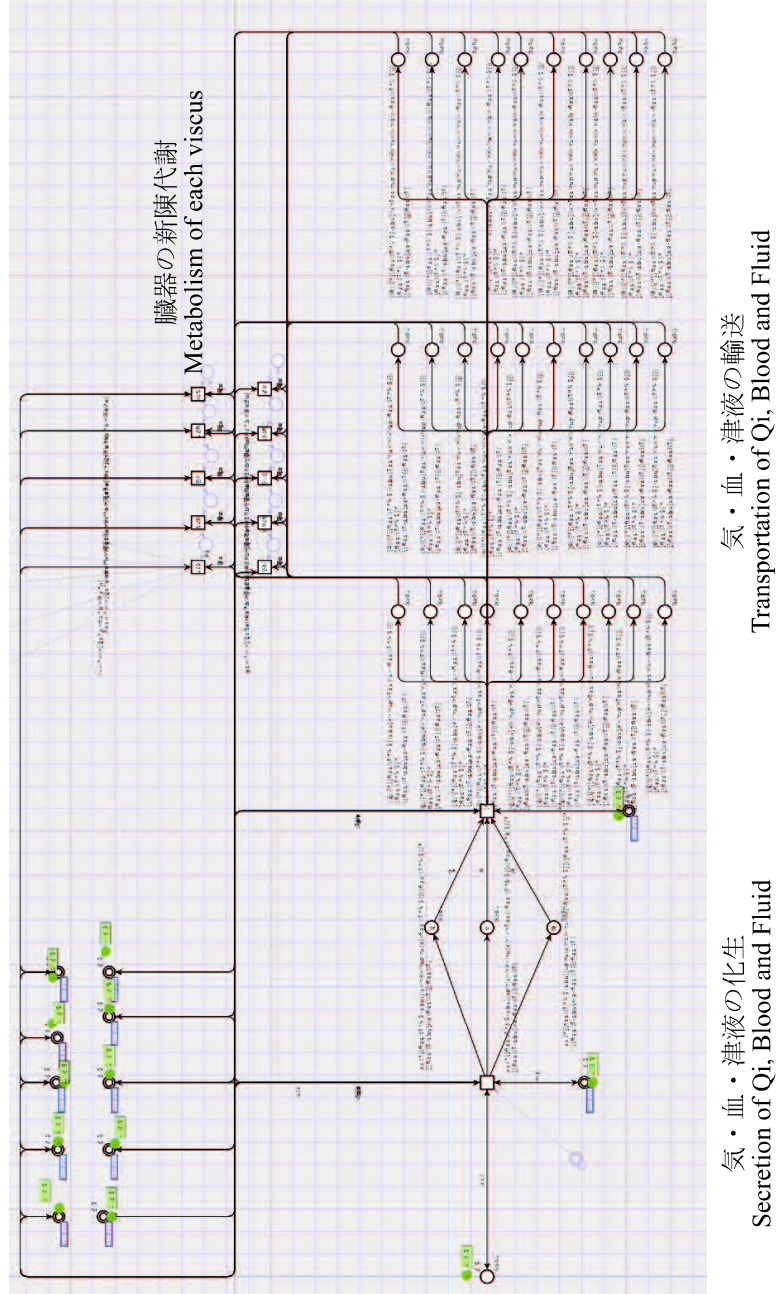


図 5.5: 気・血・津液および臓腑の新陳代謝のモデル

## 5.4 気・血・津液を加えた人体モデル

ここでは、図 5.5 のモデルと五臓六腑モデルをつなげ、図 5.6 に示したモデルを構築する。また、CPN Tools の階層化機能を用いて、「気・血・津液および臓腑の新陳代謝」の部分（図 5.6 の左の枠内）を階層化し、図 5.7 のようなモデルを構築する。

第 3 章からここまでは、人体の五臓六腑、経脈と経穴、気・血・津液および臓腑の新陳代謝を含む人体モデルを構築した。構築したモデルを図 5.8 に示す。CPN Tools の階層化機能により、図 5.8 を「五臓六腑と気・血・津液など」、「インターフェース」、「経脈と経穴」の 3 つの部分に分け、階層化した人体モデルを図 5.9 に示す。



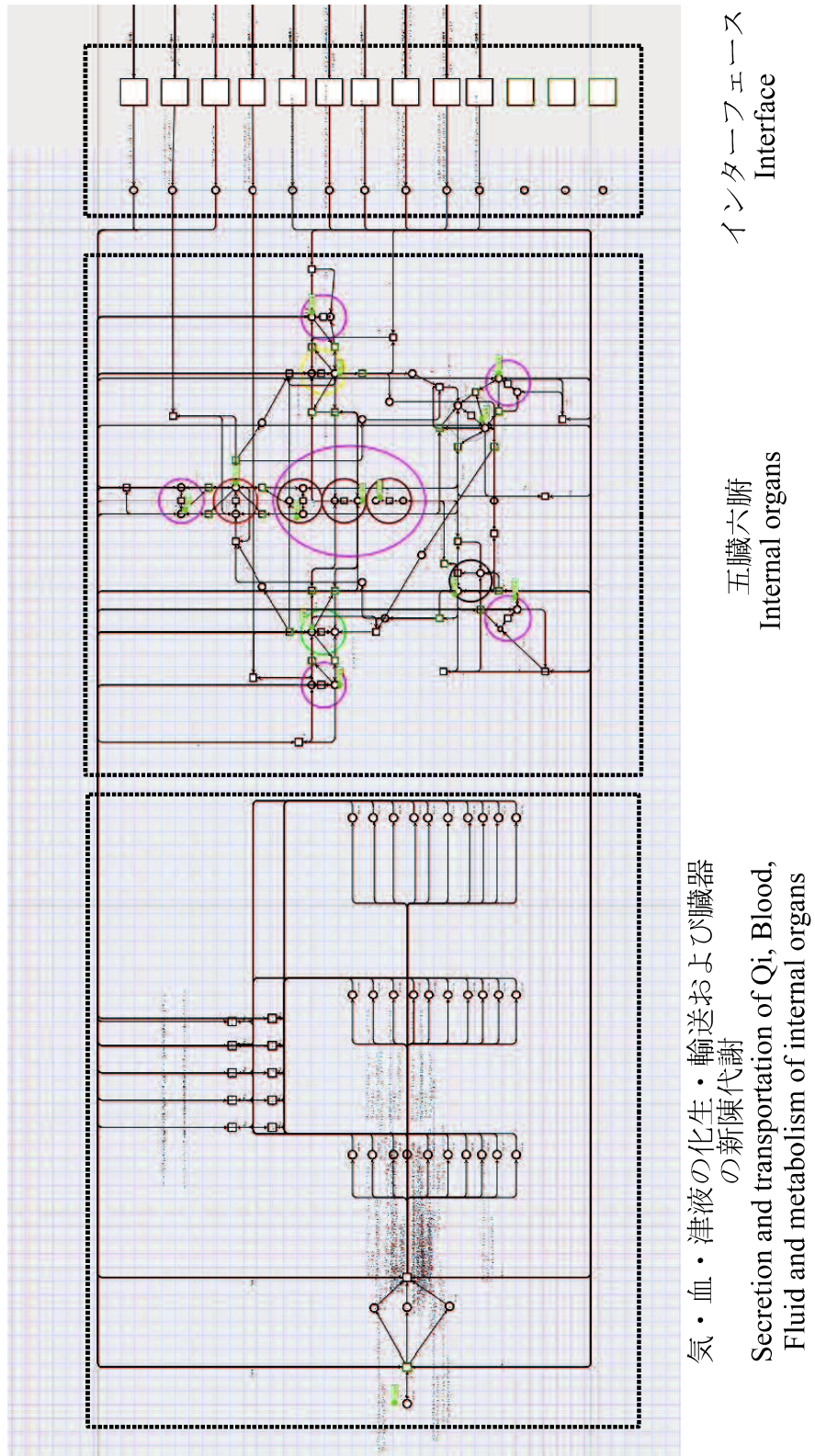


図 5.6: 気・血・津液および臓腑の新陳代謝を加えた五臓六腑のモデル (階層化前)



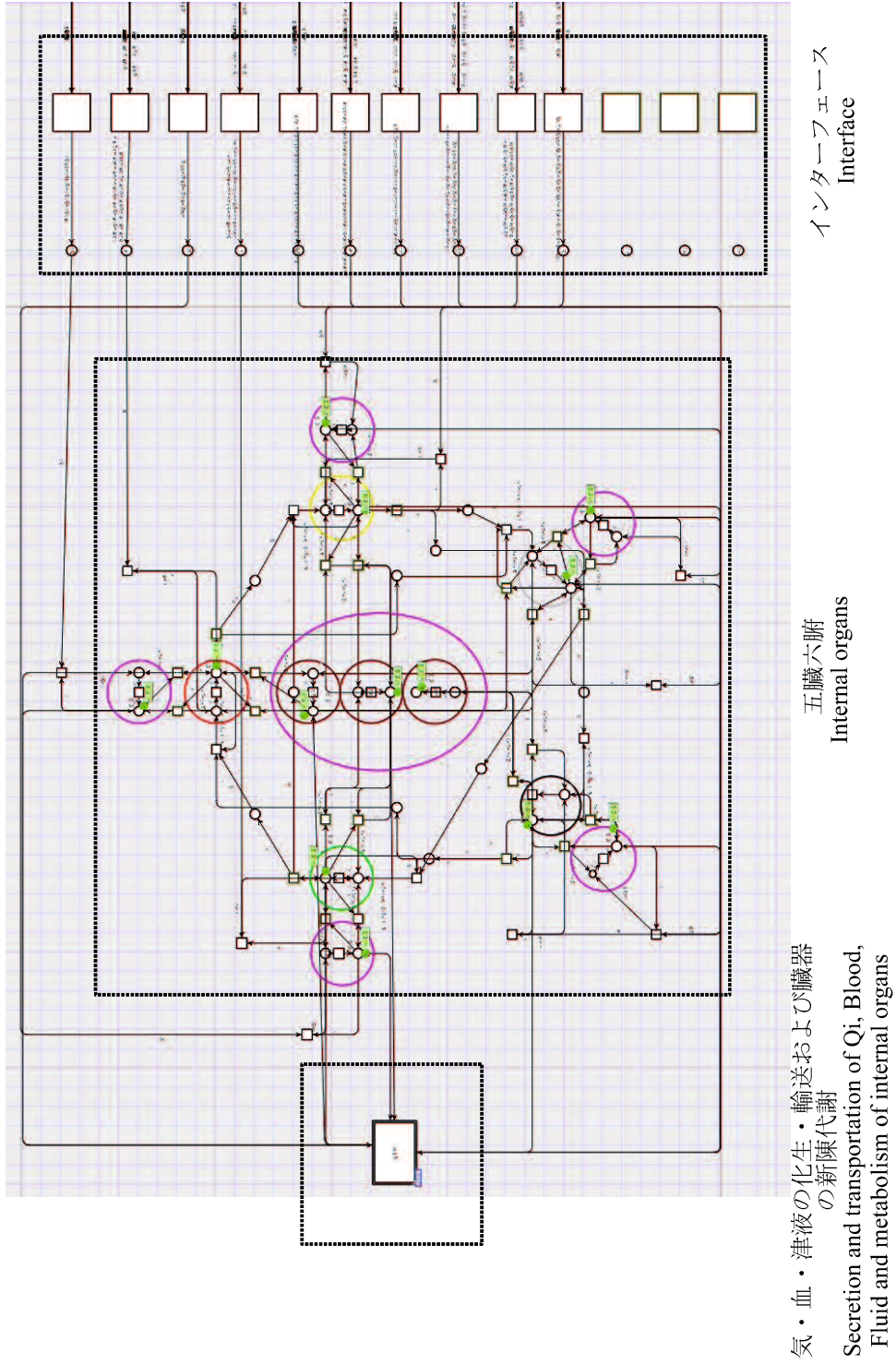


図 5.7: 気・血・津液および臓腑の新陳代謝を加えた五臓六腑のモデル (階層化後)

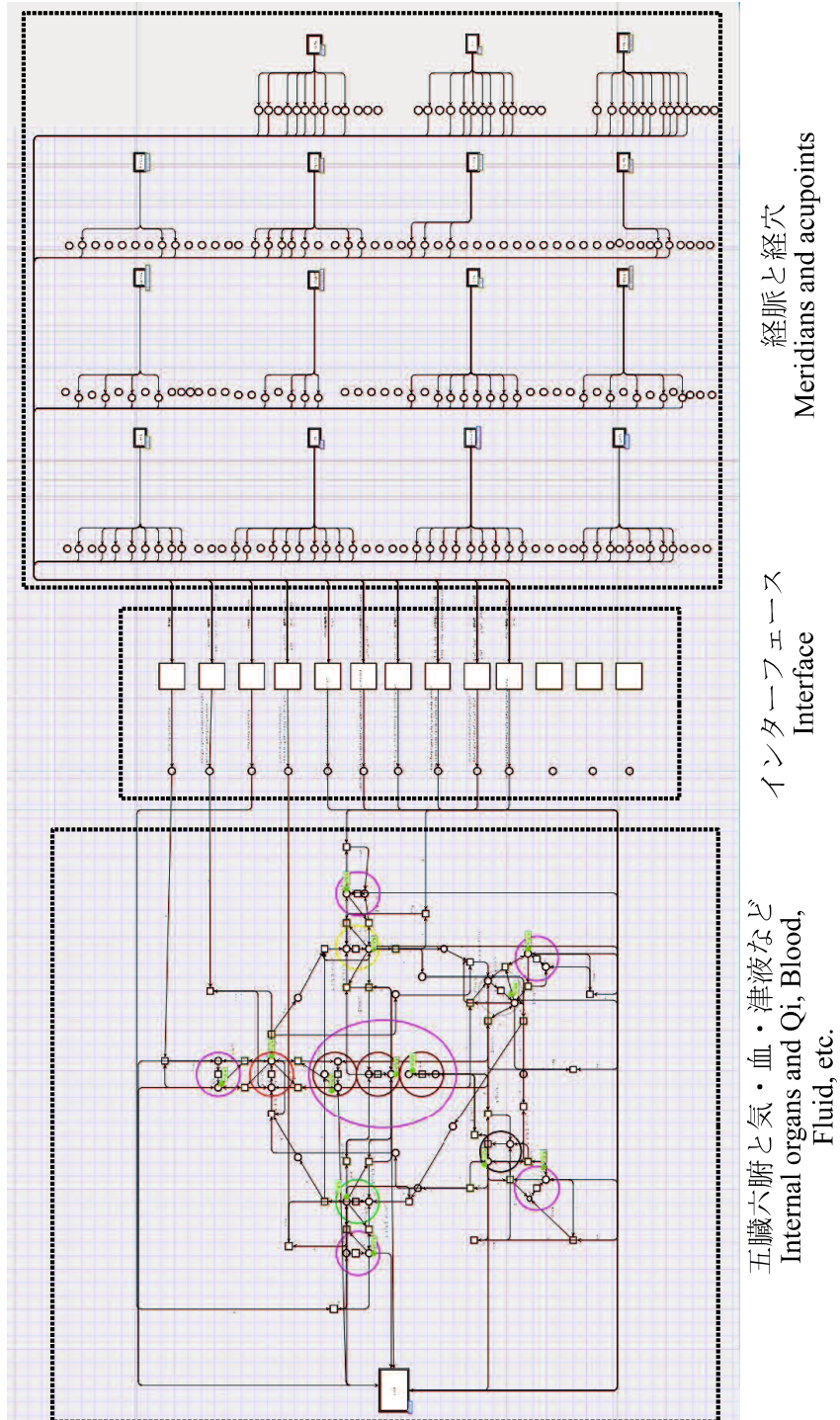


図 5.8: 人体モデル (階層化前)

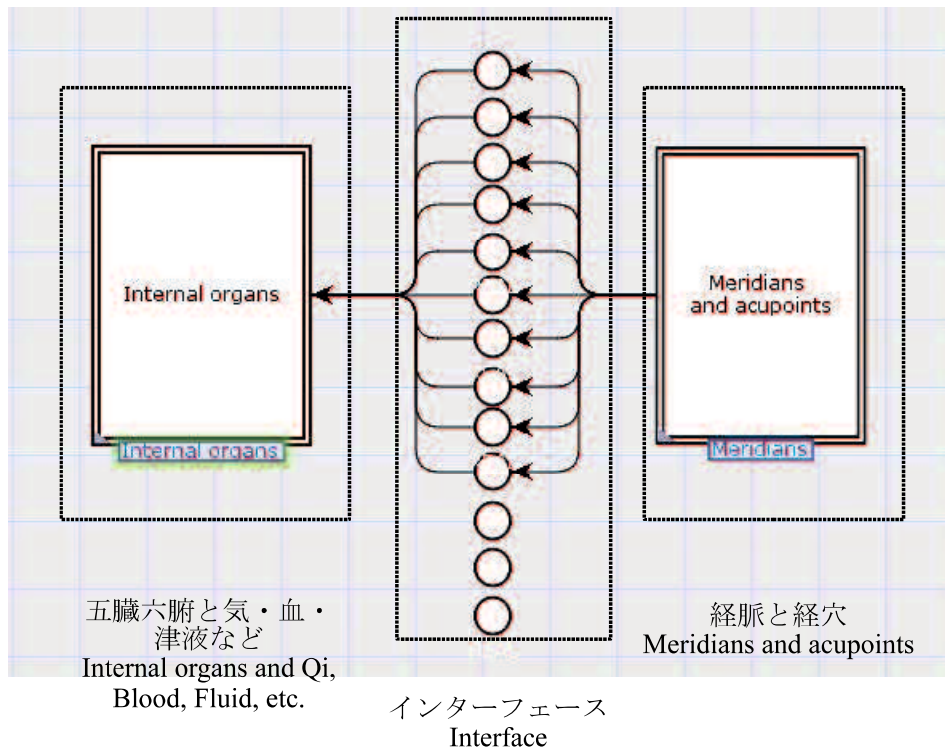


図 5.9: 人体モデル（階層化後）

## 第6章 鍼灸治療のシミュレーションとその結果

本章では，第5章で構築した人体モデルを用いて，臨床で有効と検証された鍼灸治療法のシミュレーションを行い，構築したモデルの妥当性を検証する．

まず，第5章で構築したモデルに，各式の計算順を守るための補助要素を追加し，シミュレーションモデルの構築法を提案する．そして，CPN Toolsによるモデルの読込時間を短縮するために，PNの構造の変更を行う．さらに，臨床で検証された鍼灸治療法のシミュレーションを行い，シミュレーション結果と臨床結果を比較し，3つの観点に基づき，モデルの妥当性を検証する．

## 6.1 シミュレーションモデルの構築

### 6.1.1 補助要素の追加による計算順の把握

第 5 章で構築した図 5.9 のモデルを直接用いて、鍼灸治療のシミュレーションを行うことはできない。その理由は、図 5.9 のモデルは提案した各式における「 $\tau-1 < \tau' < \tau'' < \tilde{\tau} < \hat{\tau} < \tau$ 」の計算順を守っていないからである。一方、PN は同時並行的なシステムを表すのに優れたツールとして、五臓間や臓腑間の並行的・逐次的な働きを表すことが可能である。そのため、本論文では、構築した図 5.9 のモデルに補助要素を追加することにより、「相生相克」⇒「表裏関係」⇒「経穴からの影響」⇒「気・血・津液の化生・輸送および臓腑の新陳代謝」の計算順を守る。補助要素は、東洋医学における人体には存在しておらず、計算式の結果にも影響を及ぼさず、構築したモデル中の式の計算順を守るためのものである。

ここでは、構築した人体モデル（図 5.9）の一部である図 6.1 のモデルへの補助要素の追加方法を紹介する。図 6.1 のモデルに追加している補助要素は、 $p_{s1} - p_{s17}$  のスペースと表 6.1 のアークである。これらの補助要素があれば、図 6.1 における  $\tau-1$  から  $\tau$  までの間に、CPN モデルの各トランジションの発火順番は表 6.2 のようになる。表 6.2 は、 $\tau-1$  から  $\tau$  までの 6 列があり、各列内の時刻にトランジションは並行的に発火できる。例えば、時刻  $\tau-1$  では、相生相克の計算を行うために、 $t_{h-o}$ ,  $t_{s-o}$ ,  $t_{o-o}$  を発火させる。時刻  $\tau'$  では、心および脾への相生相克の計算（式 (1)）を行うため、 $t_{h-i}$  と  $t_{s-i}$  が発火する。時刻  $\tau''$  では、心から小腸、脾から胃への表裏関係の計算（式 (2)）を行うため、 $t_{h-s} \rightarrow t_{his}$  と  $t_{s-s} \rightarrow t_{sst}$  が順次に発火する。時刻  $\tilde{\tau}$  では、小腸から心、胃から脾の表裏関係の計算（式 (3)）を行うため、 $t_{si-s} \rightarrow t_{sih}$  と  $t_{st-s}$  が順次に発火する。その後の時刻  $\hat{\tau}, \tau$  では、式 (4)(5), 式 (6)(7)(8) をそれぞれ計算する。このような補助要素の追加方法を図 5.9 の人体モデルに追加することにより、鍼灸治療のシミュレーションが可能になる。



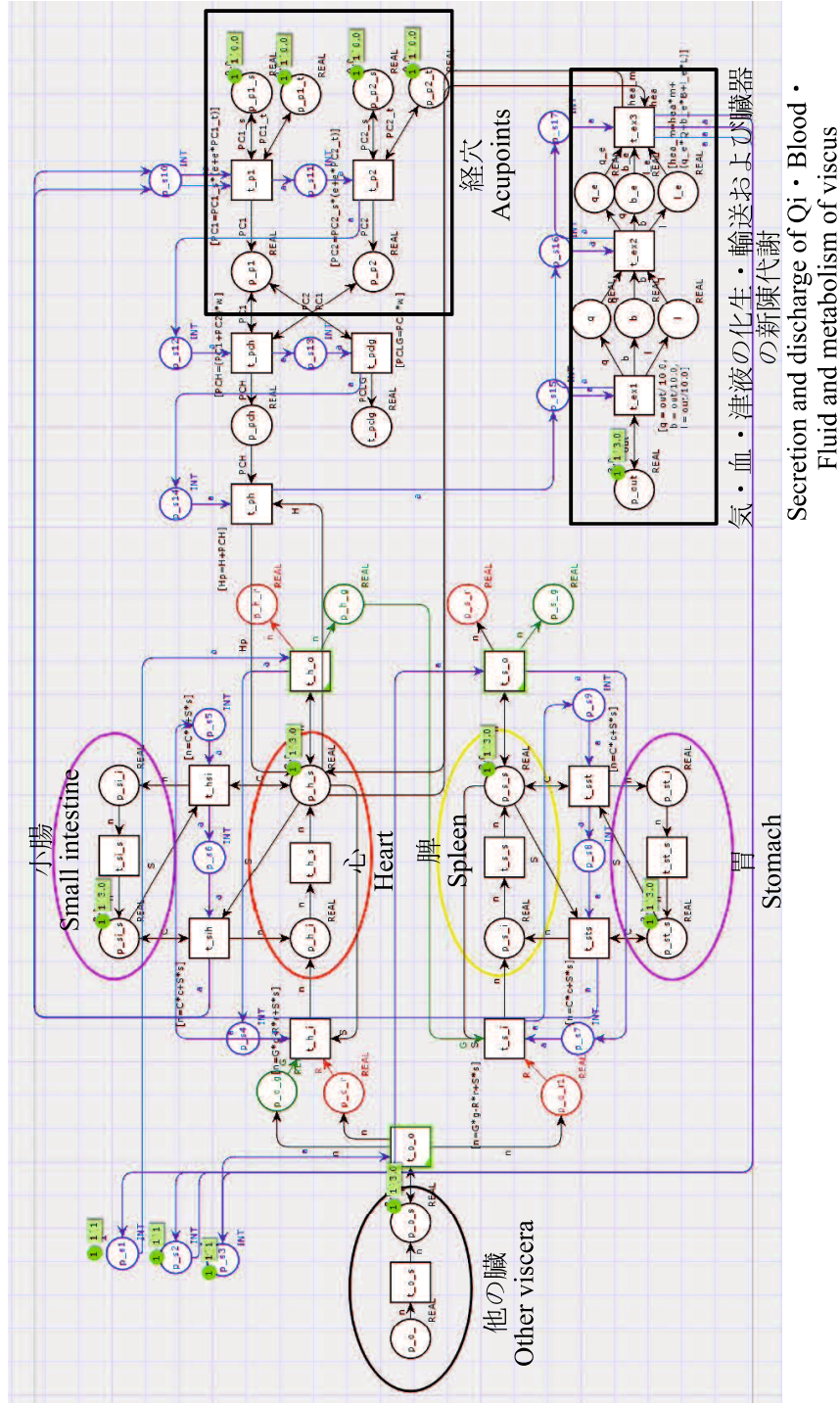


図 6.1: 計算順を守るための補助要素の追加方法

表 6.1: 図 6.1 の補助要素のアーク

$(p_{s1}, t_{h\_o})$	$(p_{s2}, t_{s\_o})$	$(p_{s3}, t_{o\_o})$	$(t_{ph}, p_{s15})$
$(t_{h\_o}, p_{s4})$	$(t_{s\_o}, p_{s7})$	$(t_{p1}, p_{s11})$	$(p_{s15}, t_{ex1})$
$(p_{s4}, t_{h\_i})$	$(p_{s7}, t_{s\_i})$	$(p_{s11}, t_{p2})$	$(t_{ex1}, p_{s16})$
$(t_{h\_i}, p_{s5})$	$(t_{s\_i}, p_{s9})$	$(t_{p2}, p_{s12})$	$(p_{s16}, t_{ex2})$
$(p_{s5}, t_{hsi})$	$(p_{s9}, t_{sst})$	$(p_{s12}, t_{pch})$	$(t_{ex2}, p_{s17})$
$(t_{hsi}, p_{s6})$	$(t_{sst}, p_{s8})$	$(t_{pch}, p_{s13})$	$(p_{s17}, t_{ex3})$
$(p_{s6}, t_{sih})$	$(p_{s8}, t_{sts})$	$(p_{s13}, t_{pclg})$	$(t_{ex3}, p_{s1})$
$(t_{sih}, p_{s10})$	$(t_{sts}, p_{s10})$	$(t_{pclg}, p_{s14})$	$(t_{ex3}, p_{s2})$
$(p_{s10}, t_{p1})$	$(p_{s10}, t_{p1})$	$(p_{s14}, t_{ph})$	$(t_{ex3}, p_{s3})$

表 6.2: 図 6.1 の発火順番

時刻	$\tau-1$	$\tau'$	$\tau''$	$\tilde{\tau}$	$\hat{\tau}$	$\tau$
トランジション	$t_{h\_o}$	$t_{h\_i}$	$t_{h\_s} \rightarrow t_{hsi}$	$t_{si\_s} \rightarrow t_{sih}$	$t_{h\_s} \rightarrow t_{p1} \rightarrow t_{p2} \rightarrow$ $t_{pch} \rightarrow t_{pclg} \rightarrow t_{ph}$	$t_{ex1} \rightarrow t_{ex2} \rightarrow t_{ex3}$
	$t_{s\_o}$	$t_{s\_i}$	$t_{s\_s} \rightarrow t_{sst}$	$t_{st\_s} \rightarrow t_{sts}$	$t_{s\_s}$	
	$t_{o\_o}$					
式		式(1)	式(2)	式(3)	式(4)→式(5')	式(6)→式(7)→式(8)

## 6.1.2 CPN モデル構造の変更

CPN Tools は、PN に関する構造と宣言を自動的にチェックすることができる。このチェックのための時間を「読込時間」と呼ぶ。本論文では、構築した膨大なモデルの長い読込時間を短縮するため、CPN Tools によって、ネットの構造を変更する。

前述 (2.2.3) したように、CPN Tools では、出力値の更新をする方法は、2 つがある。第 3 章から第 5 章までに、方法 i を使って、モデルの構築法を述べた。しかし、このように構築した人体モデルの読込時間は長くなった。ここでは、効率的に多くの鍼灸治療シミュレーションを行うために、シミュレーションモデルの中で、方法 i から方法 ii に変更する。この PN の構造の変更は計算結果に影響を及ぼさない。

変更方法は図 6.2 に示す。この方法を図 5.9 のモデルに適用すると、同様の計算機環境 (Intel (R) Core (TM) i7-2600 CPU @ 3.40GHz) では、読込時間が 20 分間であったものが 6 分間に短縮できた。

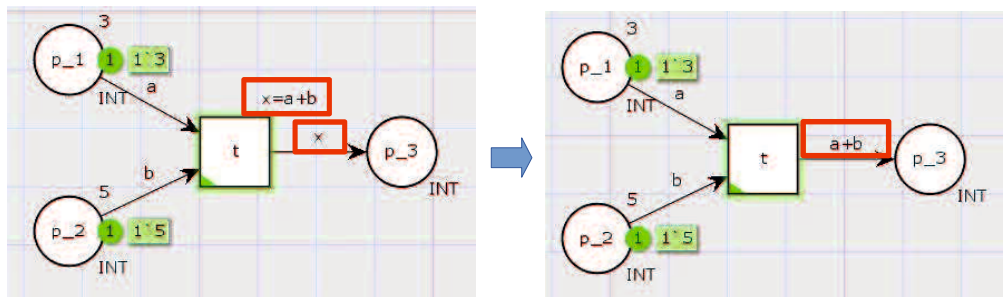


図 6.2: CPN モデルの構造変更前 (左) 後 (右)



## 6.2 鍼灸治療のシミュレーション実験

### 6.2.1 シミュレーションモデル中のパラメータの設定

ここでは、構築したモデルを用いて、既に臨床で有効と検証された鍼灸治療法のシミュレーションを行い、シミュレーション結果と臨床データとの比較を行う。本論文では、シミュレーションモデルにおける各種のパラメータを以下のように設定する。

① 臓腑単体モデル内の状態プレースのトークンの値は実数で表される必要があるため、すべてのプレースを *REAL* 型とする。

② 臓腑の状態を図 3.1 に示した弱、微弱、平衡、微強、強の五段階で表し、臓腑モデル内の状態プレースのトークンの値域を  $(0.5, 5.5)$  とする。トークンの値が  $(0.5, 1.5)$  であれば弱の状態、 $[1.5, 2.5)$  であれば微弱の状態を表す。同様に、平衡状態と微強の状態と強の状態をそれぞれ  $[2.5, 3.5]$ ,  $(3.5, 4.5]$ ,  $(4.5, 5.5)$  で表す。その内、 $(0.5, 1.5)$  と  $[1.5, 2.5)$  は臓腑状態の「虚」であり、 $(3.5, 4.5]$  と  $(4.5, 5.5)$  は臓腑状態の「実」である。

③ 五臓間の相生相克に関わる式 (1) におけるパラメータについては、文献 [10] を参考に  $g = 0.15$ ,  $r = 0.05$ ,  $s = 0.90$  とする。

④ 臓と腑の表裏関係に関わる式 (2)(3) 中のパラメータを  $s = 0.90$ ,  $c = 0.10$  とする。

⑥ 経穴から臓腑への影響に関わる式 (4)(5) のパラメータを  $e = 0.25$ ,  $w = 0.01$  とする。

⑦ 気・血・津液の化生・輸送に関わる式 (6)(7) のパラメータを  $h = 3.0$ ,  $v = 10$  とする。

⑧ 臓腑の新陳代謝に関わる式 (8) のパラメータを  $m = 0.999$ ,  $q = 0.004$ ,  $b = 0.004$ ,  $l = 0.002$  とする。

### 6.2.2 シミュレーションケース

本論文では、文献 [80]-[83] に基づき、合計 17 の症例の原因と鍼灸治療法を表 6.3, 6.4, 6.5 にまとめた。例えば、表 6.3 の No.1 (血管性片頭痛) については、病変臓腑の肝は実である。臨床では経穴の TE17 と GB39 を選び、強い瀉の治療法が用いられている。また、表 6.3 の No.2 (夜泣き児 (腎虚型)), No.3 (夜泣き児 (脾虚型)), No.4 (夜泣き児 (肝実型)) は、同じ病気 (夜泣き児) であるが、病変臓腑により、腎虚型、脾虚型、肝実型に分けられている。そのため、臨床での治療法も異なる。なお、No.5 (視覚異常) の症例は、先天性ではなく、外部の原因で起きた病気である。

本論文では、モデルの妥当性を検証するために、提案したモデルを用いて、以下の 3 つの観点に基づき、鍼灸治療のシミュレーションを行った。

1 つ目は、臨床で有効と検証された計 17 の症例に基づいて行った鍼灸治療のシミュレーション (Case1-Case17) 結果と文献に記載された臨床結果と一致しているかどうか。

2 つ目は、文献に記載された経穴を除いてランダムに選ばれた経穴を刺激した鍼灸治療のシミュレーション (Case18) 結果と文献に記載された臨床結果と一致しているかどうか。

3 つ目は、他の臓腑との関係が判明されていない三焦を除いた人体モデルを用いて、臨床で有効と検証された症例に基づいて行った鍼灸治療のシミュレーション (Case19) 結果と文献に記載された臨床結果と一致しているかどうか。<sup>1</sup>

シミュレーションモデルにそれぞれの設定を表 6.6, 6.7, 6.8 のようにする。例えば、表 6.6 より、Case 1 では、血管性片頭痛の鍼灸治療シミュレーションを行う。病変臓腑の肝は実であるため、5.0 と設定し、他の臓腑は正常であるため、3.0 とする。また、治療用の経穴 TE17 と GB39 に強い瀉の方法が用いられているため、-5.0 と設定し、他の経穴を刺激しないため、0.0 とする。19 のケースに対して、それぞれ  $\tau = 0$  から  $\tau = 50$  まで、計 50 回 (時刻  $\tau=0$  から  $\tau=1$  までの間の実行を 1 回とする) 続けて実行する。1 回の実行において、トランジションを順次に発火させ、式 (1)-(8) を 1 回ずつ計算させた。

<sup>1</sup>提案した人体モデルの中で、三焦は、「臓と表裏関係」と「気・血・津液の化生と輸送に関わっている」としているため、「三焦を除いた人体モデル」は、この両方を除いたモデルである。

表 6.3: 鍼灸治療の症例\_その 1

No.	病名	病変臓腑		治療用経穴		補/瀉	強さ
1	血管性片頭痛	肝	実	翳風	TE17	瀉	強い
				懸鐘	GB39	瀉	強い
2	夜泣き児・腎虚型	腎	虚	太溪	KI3	補	弱い
				三陰交	SP6	補	弱い
				関元	CV4	補	弱い
				腎腧	BL23	補	弱い
3	夜泣き児・脾虚型	脾	虚	太白	SP3	補	弱い
				足三里	ST36	補	弱い
				合谷	LI4	補	弱い
				中脘	CV12	補	弱い
4	夜泣き児・肝実型	肝	実	太衝	LR3	瀉	弱い
				大陵	PC7	瀉	弱い
				陽陵泉	GB34	瀉	弱い
				膻中	CV17	瀉	弱い
5	色覚異常	肝腎	虚虚	睛明	BL1	補	普通
				攢竹	BL2	補	普通
				瞳子膠	GB1	補	普通
				風池	GB20	補	普通
				四白	ST2	補	普通
				光明	GB37	補	普通
6	鼻淵 (別称：蓄膿症)	肺肝胆	実実実	列缺	LU7	瀉	普通
				合谷	LI4	瀉	普通
				迎香	LI20	瀉	普通
				印堂	EX-HN3	瀉	普通
				太衝	LR3	瀉	普通
				風池	GB20	瀉	普通
				上星	GV23	瀉	普通
7	纏腰火丹 (別称：蛇丹，带状疱疹)	肝胆	実実	外関	TE5	瀉	普通
				太衝	LR3	瀉	普通
				支溝	TE6	瀉	普通
				陰陵泉	SP9	瀉	普通
				合谷	LI4	瀉	普通
				俠谿	GB43	瀉	普通
				曲池	LI11	瀉	普通
				血海	SP10	瀉	普通
				内庭	ST44	瀉	普通
風池	GB20	瀉	普通				

表 6.4: 鍼灸治療の病例\_その 2

No.	病名	病変臓腑		治療用経穴		補/瀉	強さ
8	淋証 (排尿異常)	脾 腎	虚 虚	関元	CV4	補	普通
				足三里	ST36	補	普通
9	咳蹴	肺 脾 胃	虚 虚 虚	列缺	LU7	補	弱い
				照海	KI6	補	弱い
				彘中	KI26	補	弱い
				膻中	CV17	補	弱い
				曲池	L11	補	弱い
				合谷	L14	補	弱い
				風池	GB20	補	弱い
				大椎	GV14	補	弱い
				尺沢	LU5	補	弱い
				肺腧	BL13	補	弱い
				膈腧	BL17	補	弱い
				太溪	KI3	補	弱い
				内関	PC6	補	弱い
				公孫	SP4	補	弱い
				商丘	SP5	補	弱い
				三陰交	SP6	補	弱い
脾腧	BL20	補	弱い				
胃腧	BL21	補	弱い				
足三里	ST36	補	弱い				
中腕	CV12	補	弱い				
10	幻肢痛	心 肝	虚 虚	風池	GB20	補	普通
				風府	GV16	補	普通
				四神聡	EX-HN1	補	普通
				神庭	GV24	補	普通
				内関	PC6	補	普通
				神門	HT7	補	普通
11	目赤腫痛	肝 胆	実 実	風池	GB20	瀉	普通
				睛明	BL1	瀉	普通
				太陽	EX-HN5	瀉	普通
				行間	LR2	瀉	普通
				侠谿	GB43	瀉	普通
12	陰委・腎虚型	腎	虚	関元	CV4	補	普通
				三陰交	SP6	補	普通
				腎腧	BL23	補	普通
				命門	GV4	補	普通

表 6.5: 鍼灸治療の病例\_その 3

No.	病名	病変臓腑		治療用経穴		補/瀉	強さ
13	陰委・腎実型	腎	実	関元	CV4	瀉	普通
				三陰交	SP6	瀉	普通
				陰陵泉	SP9	瀉	普通
				上膠	BL31	瀉	普通
				次膠	BL32	瀉	普通
				中膠	BL33	瀉	普通
				下膠	BL34	瀉	普通
14	乳癖・肝実型	肝	実	屋翳	ST15	瀉	普通
				膻中	CV17	瀉	普通
				内関	PC6	瀉	普通
				太衝	LR3	瀉	普通
15	乳癖・肝腎両虚型	肝腎	虚虚	乳根	ST18	補	普通
				腎腧	BL23	補	普通
				水泉	KI5	補	普通
				蠡溝	LR5	補	普通
				三陰交	SP6	補	普通
				肝腧	BL18	補	普通
16	潰瘍病の急性穿孔	胃	虚	梁門	ST21	補	普通
				天枢	ST25	補	普通
				足三里	ST36	補	普通
				孔最	LU6	補	普通
				中脘	CV12	補	普通
17	精液減少症	腎	虚	気海	CV6	補	やや強い
				関元	CV4	補	やや強い
				三陰交	SP6	補	やや強い
				腎腧	BL23	補	やや強い
				次膠	BL32	補	やや強い
				太溪	KI3	補	やや強い
				中極	CV3	補	やや強い
				足三里	ST36	補	普通
				照海	KI6	補	普通
				命門	GV4	補	普通

表 6.6: シミュレーションケース\_その 1

Case	病名	臓腑		経穴		
		病変臓腑	正常臓腑	治療用経穴	強さ	他の経穴
Case 1	血管性片頭痛	肝 : 5.0	その他 : 3.0	TE17	-5.0	0.0
				GB39	-5.0	
Case 2	夜泣き児・腎虚型	腎 : 1.0	その他 : 3.0	KI3	+1.0	0.0
				SP6	+1.0	
				CV4	+1.0	
				BL23	+1.0	
Case 3	夜泣き児・脾虚型	脾 : 1.0	その他 : 3.0	SP3	+1.0	0.0
				ST36	+1.0	
				LI4	+1.0	
				CV12	+1.0	
Case 4	夜泣き児・肝実型	肝 : 5.0	その他 : 3.0	LR3	-1.0	0.0
				PC7	-1.0	
				GB34	-1.0	
				CV17	-1.0	
Case 5	色覚異常	肝 : 1.0 腎 : 1.0	その他 : 3.0	BL1	+3.0	0.0
				BL2	+3.0	
				GB1	+3.0	
				GB20	+3.0	
				ST2	+3.0	
				GB37	+3.0	
Case 6	鼻淵	肺 : 5.0 肝 : 5.0 胆 : 5.0	その他 : 3.0	LU7	-3.0	0.0
				LI4	-3.0	
				LI20	-3.0	
				EX-HN3	-3.0	
				LR3	-3.0	
				GB20	-3.0	
Case 7	纏腰火丹	肝 : 5.0 胆 : 5.0	その他 : 3.0	TE5	-3.0	0.0
				LR3	-3.0	
				TE6	-3.0	
				SP9	-3.0	
				LI4	-3.0	
				GB43	-3.0	
				LI11	-3.0	
				SP10	-3.0	
				ST44	-3.0	
GB20	-3.0					

表 6.7: シミュレーションケース\_その 2

Case	病名	臓腑		経穴		
		病変臓腑	正常臓腑	治療用経穴	強さ	他の経穴
Case 8	淋証	脾 : 1.0 腎 : 1.0	その他 : 3.0	CV4	+3.0	0.0
				ST36	+3.0	
Case 9	咳蹴	肺 : 1.0 脾 : 1.0 胃 : 1.0	その他 : 3.0	LU7	+1.0	0.0
				KI6	+1.0	
				KI26	+1.0	
				CV17	+1.0	
				L11	+1.0	
				LI4	+1.0	
				GB20	+1.0	
				GV14	+1.0	
				LU5	+1.0	
				BL13	+1.0	
				BL17	+1.0	
				KI3	+1.0	
				PC6	+1.0	
				SP4	+1.0	
				SP5	+1.0	
SP6	+1.0					
BL20	+1.0					
BL21	+1.0					
ST36	+1.0					
CV12	+1.0					
Case 10	幻肢痛	心 : 1.0 肝 : 1.0	その他 : 3.0	GB20	+3.0	0.0
				GV16	+3.0	
				EX-HN1	+3.0	
				GV24	+3.0	
				PC6	+3.0	
HT7	+3.0					
Case 11	目赤腫痛	肝 : 5.0 胆 : 5.0	その他 : 3.0	GB20	-3.0	0.0
				BL1	-3.0	
				EX-HN5	-3.0	
				LR2	-3.0	
GB43	-3.0					
Case 12	陰委・腎虚型	腎 : 1.0	その他 : 3.0	CV4	+3.0	0.0
				SP6	+3.0	
				BL23	+3.0	
				GV4	+3.0	
Case 13	陰委・腎実型	腎 : 5.0	その他 : 3.0	CV4	-3.0	0.0
				SP6	-3.0	
				SP9	-3.0	
				BL31	-3.0	
				BL32	-3.0	
				BL33	-3.0	
BL34	-3.0					

表 6.8: シミュレーションケース\_その 3

Case	病名	臓腑		経穴		
		病変臓腑	正常臓腑	治療用経穴	強さ	他の経穴
Case 14	乳癰・肝実型	肝 : 5.0	その他 : 3.0	ST15	-3.0	0.0
				CV17	-3.0	
				PC6	-3.0	
				LR3	-3.0	
Case 15	乳癰・肝腎両虚型	肝 : 1.0 腎 : 1.0	その他 : 3.0	ST18	+3.0	0.0
				BL23	+3.0	
				KI5	+3.0	
				LR5	+3.0	
				SP6	+3.0	
Case 16	潰瘍病の急性穿孔	胃 : 1.0	その他 : 3.0	ST21	+3.0	0.0
				ST25	+3.0	
				ST36	+3.0	
				LU6	+3.0	
Case 17	精液減少症	腎 : 1.0	その他 : 3.0	CV6	+4.0	0.0
				CV4	+4.0	
				SP6	+4.0	
				BL23	+4.0	
				BL32	+4.0	
				KI3	+4.0	
				CV3	+4.0	
				ST36	+3.0	
				KI6	+3.0	
GV4	+3.0					
Case 18 (ランダムな経穴)	鼻淵	肺 : 5.0 肝 : 5.0 胆 : 5.0	その他 : 3.0	LI3	3.0	0.0
				BL48	5.0	
				TE16	4.0	
				GV21	5.0	
				LR5	-2.0	
				ST1	-4.0	
				BL30	-1.0	
				EX-HN1	-5.0	
Case 19 (三焦を除いたモデル)	目赤腫痛	肝 : 5.0 胆 : 5.0	その他 : 3.0	GB20	-3.0	0.0
				BL1	-3.0	
				EX-HN5	-3.0	
				LR2	-3.0	
				GB43	-3.0	



## 6.2.3 シミュレーション結果

CPN Tools によって、19 ケースのシミュレーションを行い、シミュレーション結果レポート (テキストファイル) が自動生成された。本論文では、Microsoft Excel のマクロ機能 [84] を用いて、シミュレーションの結果を整理する。例えば、Case 1 を例として、シミュレーションの結果レポートを整理した様子は図 6.3 に示す。図 6.3 は、五臓 (肝, 心, 脾, 肺, 腎) 五腑 (胆, 小腸, 胃, 大腸, 膀胱) と三焦 (上焦, 中焦, 下焦) の  $\tau=0$  から  $\tau=50$  までの状態値 (紙面の都合により  $\tau=29$  まで) を示したものである。

また、状態値の変化を明らかに示すために、図 6.4 のような曲線図を作成した。図の縦軸は臓腑の状態値<sup>2</sup>であり、横軸は実行時間<sup>3</sup>を表している。実行時間が増えるにつれ、各臓腑の状態値は図中の曲線のように変化している。Case 1 から Case 19 までのシミュレーション結果は図 6.4-6.22 に示している。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		肝	心	脾	肺	腎	胆	小腸	胃	大腸	膀胱	上焦	中焦	下焦
2	T=0	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	T=1	4.47558	3.24843	2.931932	3.002457	2.97	3.18	3.03	2.99	3	3	3.02457	3.13832	3
4	T=2	4.104495	3.373153	2.941342	2.988762	2.950349	3.293568	3.071093	2.980763	2.997482	2.997202	3.068994	3.225795	2.997841
5	T=3	3.845488	3.426719	2.981468	2.97352	2.933139	3.362012	3.113717	2.976953	2.993431	2.992592	3.091043	3.261028	2.994027
6	T=4	3.657547	3.442357	3.025254	2.97093	2.916021	3.400046	3.153025	2.979196	2.988716	2.986437	3.112207	3.283188	2.988752
7	T=5	3.520909	3.435101	3.069728	2.971815	2.900147	3.41708	3.187022	2.986308	2.984802	2.979066	3.133958	3.29008	2.982312
8	T=6	3.419491	3.417995	3.108785	2.979921	2.885408	3.419858	3.214958	2.997254	2.982055	2.970829	3.150104	3.288216	2.97496
9	T=7	3.343669	3.396986	3.141361	2.99564	2.872466	3.412975	3.23708	3.010661	2.980984	2.962006	3.161841	3.278969	2.966996
10	T=8	3.282302	3.3754	3.165925	3.010323	2.862031	3.399699	3.254031	3.02608	2.982029	2.952987	3.170468	3.268464	2.958758
11	T=9	3.23311	3.355808	3.184182	3.027895	2.853576	3.382017	3.266456	3.041976	2.984766	2.944036	3.172946	3.257983	2.950496
12	T=10	3.192561	3.33671	3.19774	3.04429	2.847235	3.361488	3.275176	3.067858	2.989185	2.935406	3.174826	3.24655	2.942445
13	T=11	3.158412	3.317167	3.207419	3.069309	2.842563	3.339214	3.28073	3.07928	2.994937	2.927262	3.176196	3.234685	2.934766
14	T=12	3.12929	3.300601	3.212921	3.072911	2.839199	3.31598	3.283487	3.087903	3.00171	2.919705	3.177015	3.223452	2.927561
15	T=13	3.103662	3.284177	3.216109	3.083812	2.836895	3.292364	3.284066	3.101451	3.009197	2.912793	3.179674	3.21133	2.920894
16	T=14	3.080891	3.269039	3.217533	3.094758	2.835244	3.268746	3.282746	3.11381	3.017048	2.906528	3.179186	3.20072	2.914779
17	T=15	3.060401	3.25591	3.217625	3.104183	2.83426	3.245395	3.279877	3.124947	3.025198	2.900915	3.178449	3.19032	2.909227
18	T=16	3.041998	3.242537	3.216816	3.112248	2.833745	3.222507	3.275825	3.134986	3.033451	2.895931	3.17521	3.180171	2.904229
19	T=17	3.024774	3.230112	3.215167	3.118667	2.833549	3.20022	3.270715	3.143653	3.041664	2.89154	3.177544	3.170284	2.899759
20	T=18	3.009541	3.218933	3.214327	3.124849	2.833516	3.178627	3.264761	3.151297	3.049673	2.88769	3.175902	3.158576	2.895776
21	T=19	2.99523	3.207549	3.212529	3.13023	2.833633	3.157826	3.258188	3.158017	3.057487	2.884337	3.173952	3.147552	2.892244
22	T=20	2.981769	3.196753	3.208207	3.134651	2.833882	3.137825	3.251054	3.163812	3.06504	2.881436	3.172613	3.137085	2.889127
23	T=21	2.969088	3.186339	3.205485	3.138503	2.83429	3.118629	3.24348	3.168554	3.072232	2.878952	3.170246	3.126962	2.886398
24	T=22	2.957391	3.176568	3.200641	3.141776	2.834749	3.10023	3.235557	3.172494	3.079071	2.876841	3.167736	3.119842	2.884019
25	T=23	2.94624	3.166728	3.197538	3.144299	2.835323	3.08264	3.22739	3.175527	3.085503	2.875071	3.165333	3.110013	2.881964
26	T=24	2.934826	3.157169	3.192261	3.146455	2.835875	3.065834	3.219007	3.177897	3.091531	2.8736	3.162596	3.103383	2.880196
27	T=25	2.925193	3.147737	3.186916	3.149120	2.836505	3.049700	3.210451	3.179402	3.097126	2.872399	3.159540	3.093006	2.876992
28	T=26	2.915018	3.138574	3.181723	3.149299	2.837184	3.03436	3.201779	3.180349	3.102291	2.871444	3.15624	3.087446	2.877427
29	T=27	2.905664	3.129569	3.176623	3.149878	2.837871	3.019665	3.193017	3.18059	3.107023	2.870704	3.152922	3.080932	2.876377

図 6.3: シミュレーションレポートによる整理した Excel 表の一部 (Case 1 の場合)

<sup>2</sup>0.5 から 5.5 までの 5 段階で、(0.5, 1.5) は弱, [1.5, 2.5] は微弱, [2.5, 3.5] は平衡状態, (3.5, 4.5] は微強, (4.5, 5.5) は強, (0.5, 1.5) と [1.5, 2.5] は虚, (3.5, 4.5] と (4.5, 5.5) は実。

<sup>3</sup> $\tau=0$  から  $\tau=50$  まで

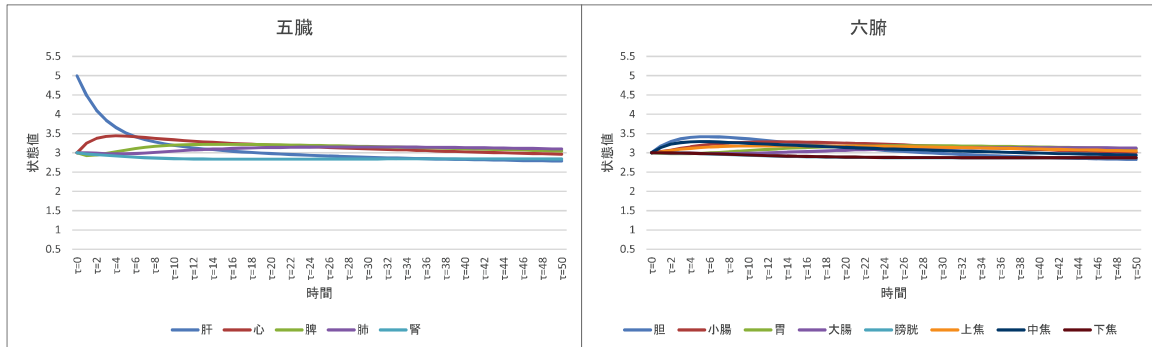


図 6.4: シミュレーション結果 - Case 1

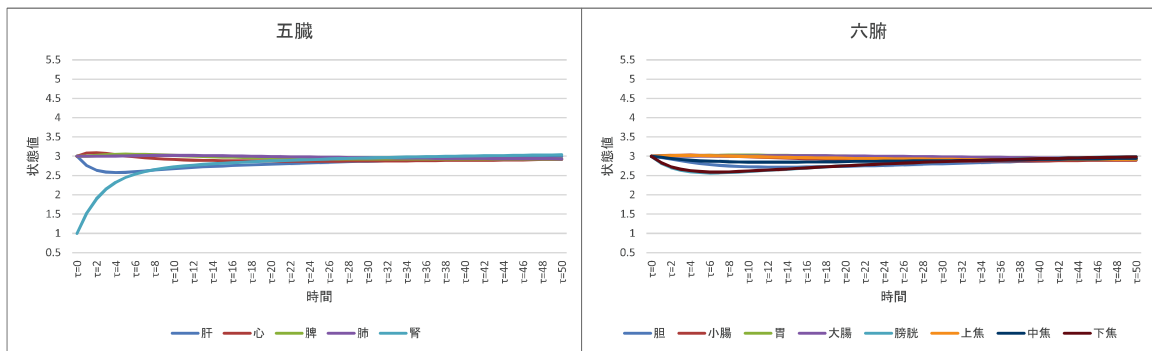


図 6.5: シミュレーション結果 - Case 2

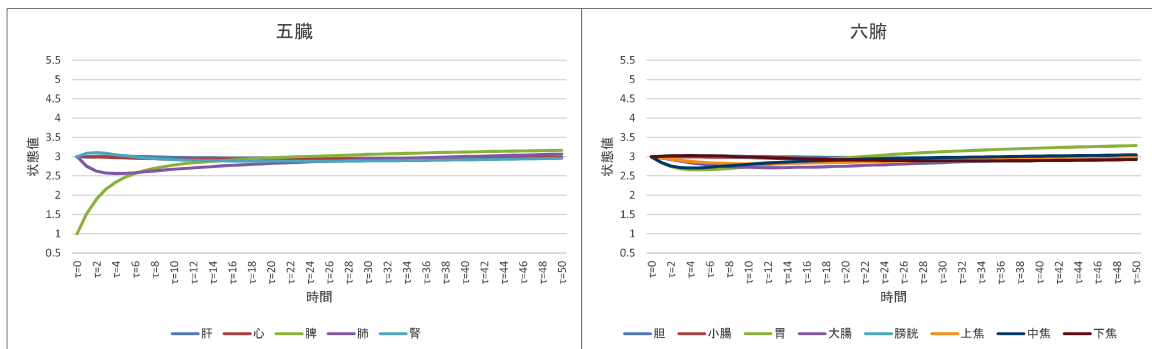


図 6.6: シミュレーション結果 - Case 3

図 6.4-6.6 より、以下のことが得られた。

**Case 1:** 最初、症例の原因は肝の状態が実であったため、肝の状態値を実 (5.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 6$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の心や六腑の胆などの状態値が上がっていった。  $\tau = 6$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態 (3.0 あたり) までに回復した。  $\tau = 8$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

**Case 2:** 最初、症例の原因は腎の状態が虚であったため、腎の状態値を虚 (1.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 8$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の肝や六腑の下焦などの状態値が下がっていった。  $\tau = 8$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態 (3.0 あたり) までに回復した。  $\tau = 10$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

**Case 3:** 最初、症例の原因は脾の状態が虚であったため、脾の状態値を虚 (1.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 6$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の肺や六腑の胃などの状態値が下がっていった。  $\tau = 6$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態 (3.0 あたり) までに回復した。  $\tau = 8$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

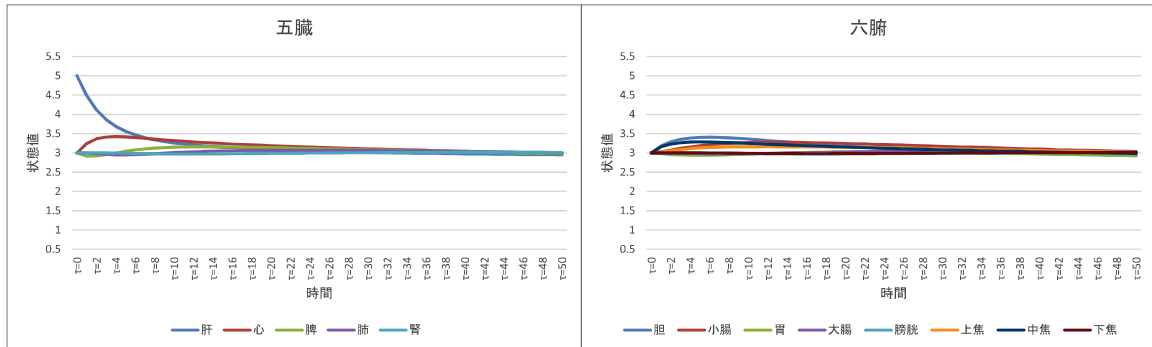


図 6.7: シミュレーション結果 - Case 4

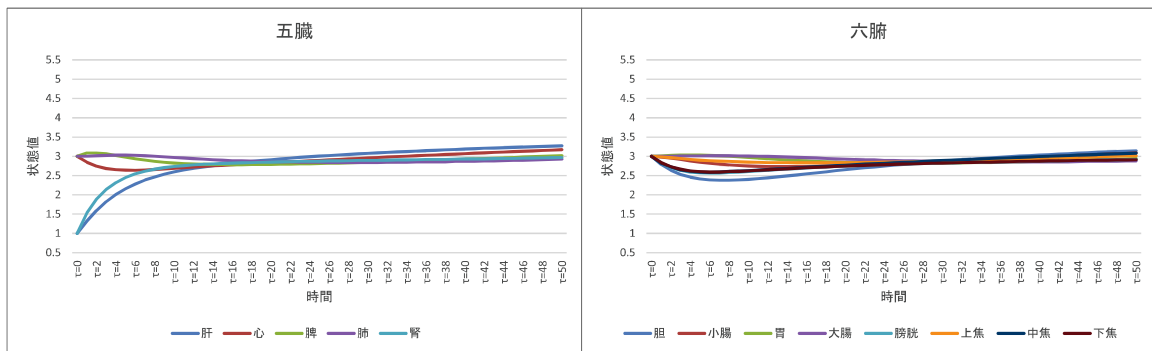


図 6.8: シミュレーション結果 - Case 5

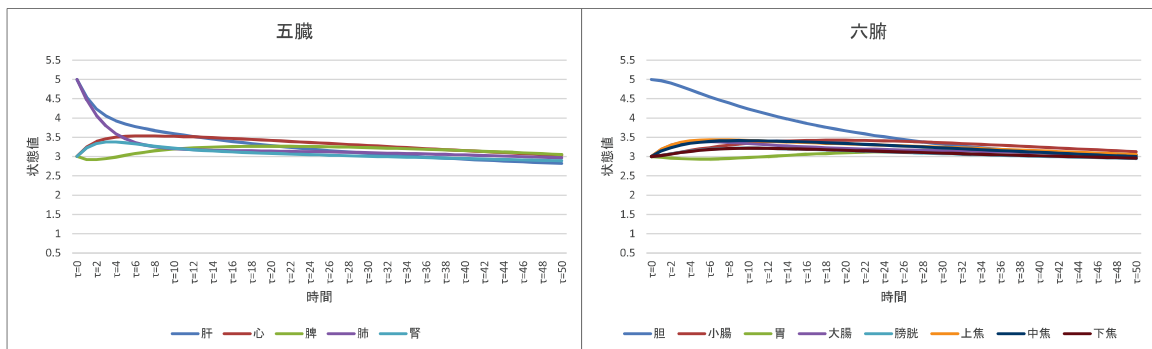


図 6.9: シミュレーション結果 - Case 6

図 6.7-6.9 より、以下のことが得られる。

**Case 4:** 最初、症例の原因は肝の状態が実であったため、肝の状態値を実 (5.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 8$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の心や六腑の胆などの状態値が上がっていった。  $\tau = 8$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態 (3.0 あたり) までに回復した。  $\tau = 10$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

**Case 5:** 最初、症例の原因は肝と腎の状態が虚であったため、肝と腎の状態値を虚 (1.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 14$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の心や六腑の胆などの状態値が下がっていった。  $\tau = 18$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態 (3.0 あたり) までに回復した。  $\tau = 20$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

**Case 6:** 最初、症例の原因は肝、肺と胆の状態が実であったため、肝、肺と胆の状態値を実 (5.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 30$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の脾、腎や六腑の胃などの状態値が上下に変動していった。  $\tau = 32$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態 (3.0 あたり) までに回復した。  $\tau = 34$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

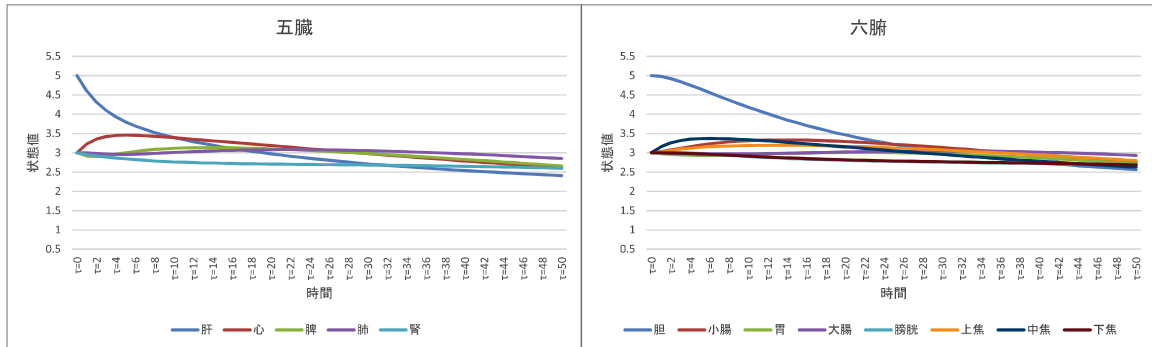


図 6.10: シミュレーション結果 - Case 7

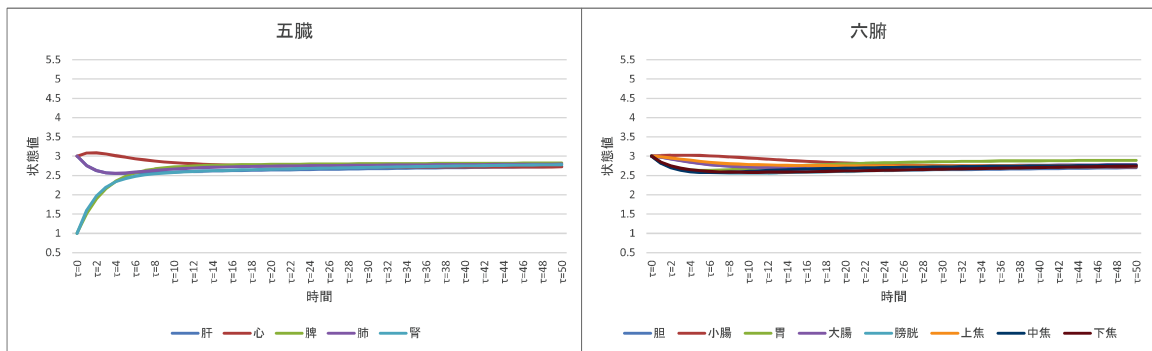


図 6.11: シミュレーション結果 - Case 8

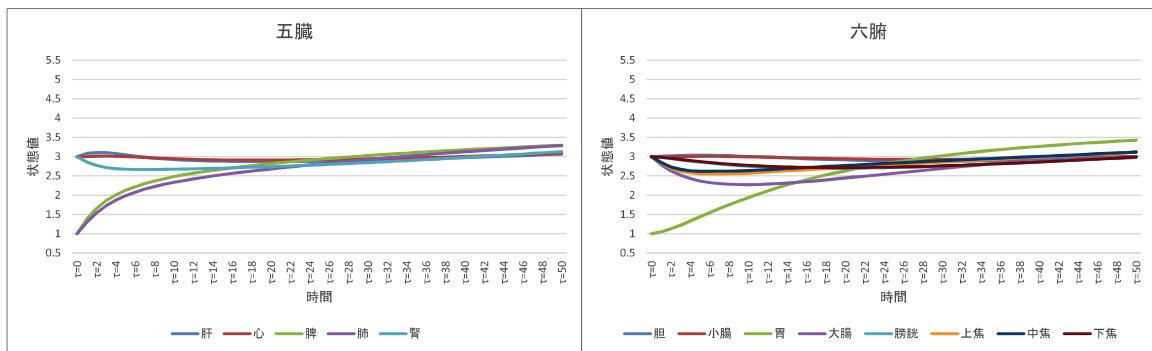


図 6.12: シミュレーション結果 - Case 9

図 6.10-6.12 より、以下のことが得られる。

**Case 7:** 最初、症例の原因は肝と胆の状態が実であったため、肝と胆の状態値を実 (5.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 12$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の心などの状態値が上がっていった。  $\tau = 20$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態 (3.0 あたり) までに回復した。  $\tau = 22$  から  $\tau = 36$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態に安定していったが、  $\tau = 36$  以降、肝の状態値が徐々に 2.5 以下に下がって、再び不健康の状態になった。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

**Case 8:** 最初、症例の原因は脾と腎の状態が虚であったため、脾と腎の状態値を虚 (1.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 18$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、腑の下焦や胃などの状態値が下がっていった。  $\tau = 20$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態 (3.0 あたり) までに回復した。  $\tau = 22$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

**Case 9:** 最初、臓腑の脾、肺と胃の状態が虚であったため、脾、肺と胃の状態値を虚 (1.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 26$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の腎や腑の大腸などの状態値が下がっていった。  $\tau = 26$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態 (3.0 あたり) までに回復した。  $\tau = 28$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

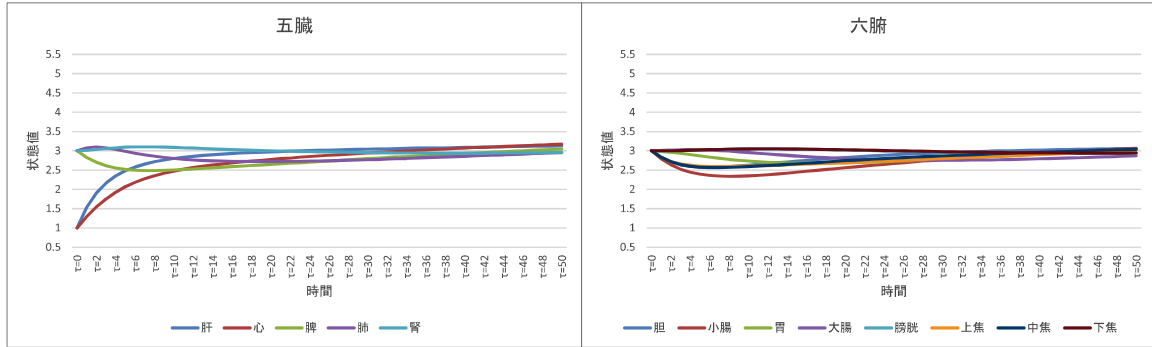


図 6.13: シミュレーション結果 - Case 10

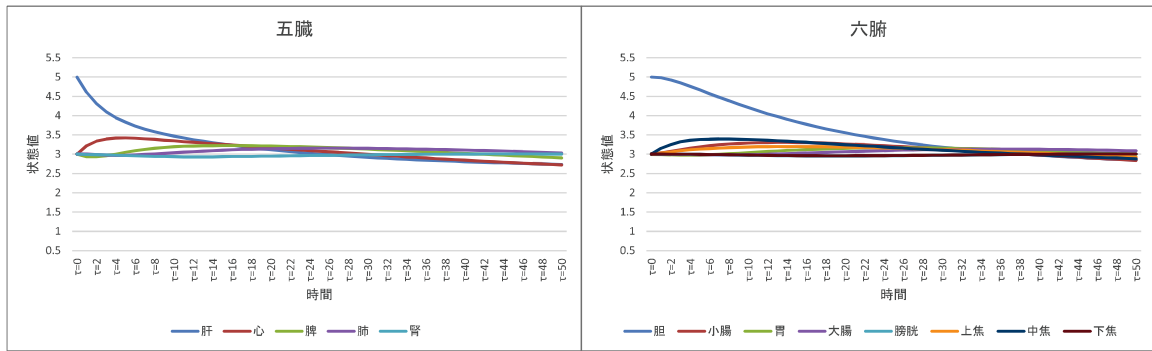


図 6.14: シミュレーション結果 - Case 11

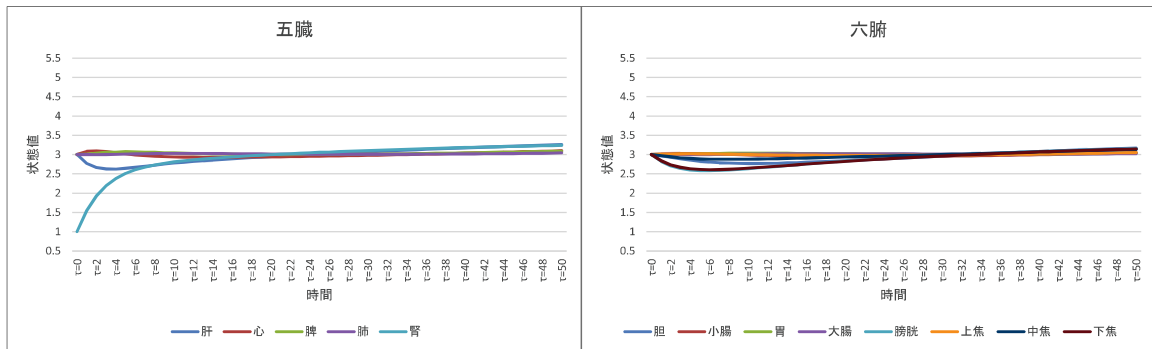


図 6.15: シミュレーション結果 - Case 12



図 6.13-6.15 より、以下のことが得られる。

**Case 10**： 最初、症例の原因は心と肝の状態が虚であったため、心と肝の状態値を虚（1.0）と設定し、他の臓腑の状態値を健康（3.0）と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 20$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の脾、肺や六腑の小腸などの状態値が下がっていった。  $\tau = 22$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態（3.0 あたり）までに回復した。従って、シミュレーションの結果により、五臓六腑が健康状態に回復でき、病気が  $\tau = 22$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

**Case 11**： 最初、症例の原因は肝と胆の状態が実であったため、肝と胆の状態値を実（5.0）と設定し、他の臓腑の状態値を健康（3.0）と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 22$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の心などの状態値が上がっていった。  $\tau = 24$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態（3.0 あたり）までに回復した。  $\tau = 24$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

**Case 12**： 最初、症例の原因である腎の状態が虚であったため、腎の状態値を虚（1.0）と設定し、他の臓腑の状態値を健康（3.0）と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 6$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の肝や六腑の胃などの状態値が下がっていった。  $\tau = 6$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態（3.0 あたり）までに回復した。  $\tau = 6$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

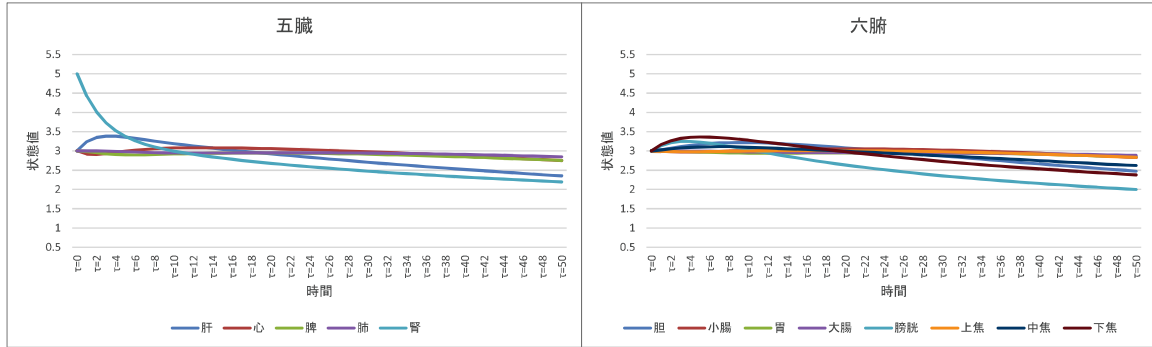


図 6.16: シミュレーション結果 - Case 13

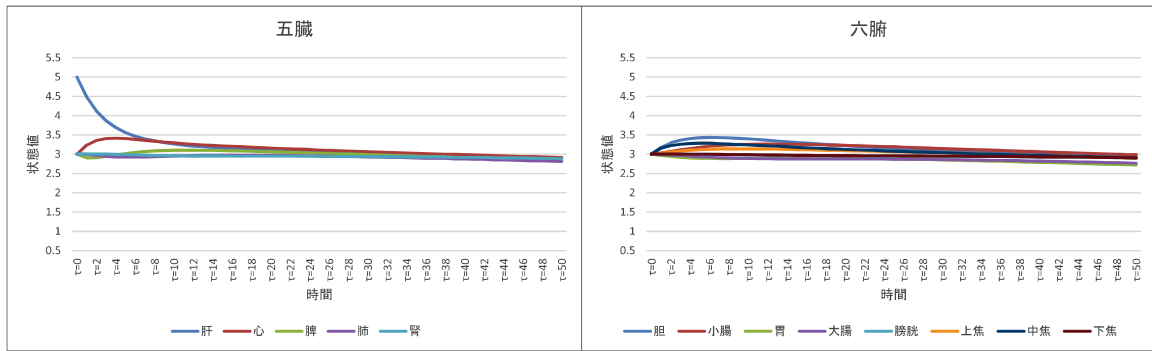


図 6.17: シミュレーション結果 - Case 14

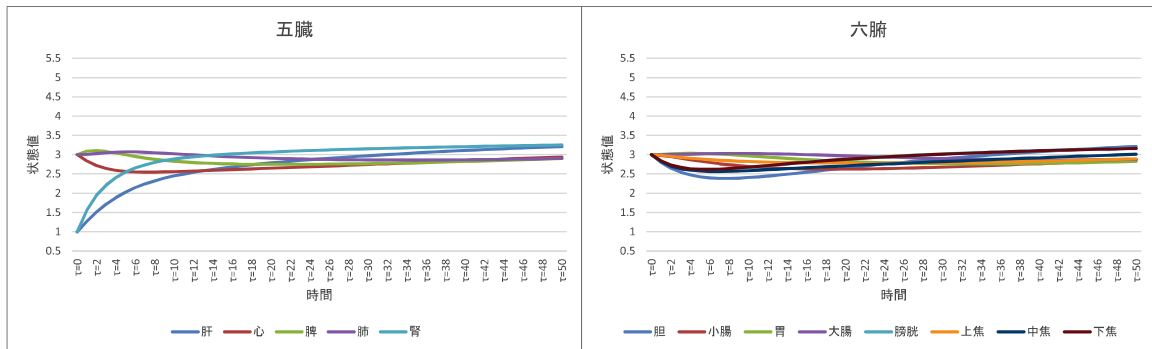


図 6.18: シミュレーション結果 - Case 15

図 6.16-6.18 より、以下のことが得られる。

**Case 13**： 最初、症例の原因は腎の状態が実であったため、腎の状態値を実（5.0）と設定し、他の臓腑の状態値を健康（3.0）と設定した。 $\tau = 2$  から  $\tau = 8$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の肝や六腑の小腸、膀胱などの状態値が上がっていった。 $\tau = 8$  から  $\tau = 14$  までの間に、五臓六腑の状態値は健康状態（3.0 あたり）に収束していった。しかし、 $\tau = 14$  以降、時間の継続増加と共に、五臓の腎、肝や六腑の膀胱、下焦などの状態値は続いて下がっていった。 $\tau = 24$  以降、腎と膀胱の状態値は再び不健康の状態（2.5 以下）になった。 $\tau = 38$  以降、肝、下焦の状態値も 2.5 以下に下がっていった。 $\tau = 50$  までは、五臓の肝、腎および六腑の膀胱、下焦、胆の状態値は不健康（2.5 以下）の状態であった。このシミュレーションの結果により、五臓六腑が一時的に健康状態に回復できたが、経穴への刺激を続けると、五臓六腑の状態値が再び不健康になった。最良の治療時間は、 $\tau = 14$  前後であることが分かる。

**Case 14**： 最初、症例の原因は肝の状態が実であったため、肝の状態値を実（5.0）と設定し、他の臓腑の状態値を健康（3.0）と設定した。 $\tau = 2$  から  $\tau = 10$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の心や六腑の胆などの状態値が上がっていった。 $\tau = 8$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態（3.0 あたり）までに回復した。 $\tau = 8$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

**Case 15**： 最初、症例の原因は肝と腎の状態が虚であったため、肝と腎の状態値を虚（1.0）と設定し、他の臓腑の状態値を健康（3.0）と設定した。 $\tau = 2$  から  $\tau = 16$  までの間に、五臓間の五行説・臓腑間の表裏関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の心や六腑の胆などの状態値が下がっていった。 $\tau = 18$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、すべての臓腑状態値が健康状態（3.0 あたり）までに回復した。 $\tau = 18$  から  $\tau = 50$  まで、五臓六腑の状態値は健康状態を維持している。このシミュレーションの結果から、五臓六腑は健康になり、病気が治ったことが分かる。

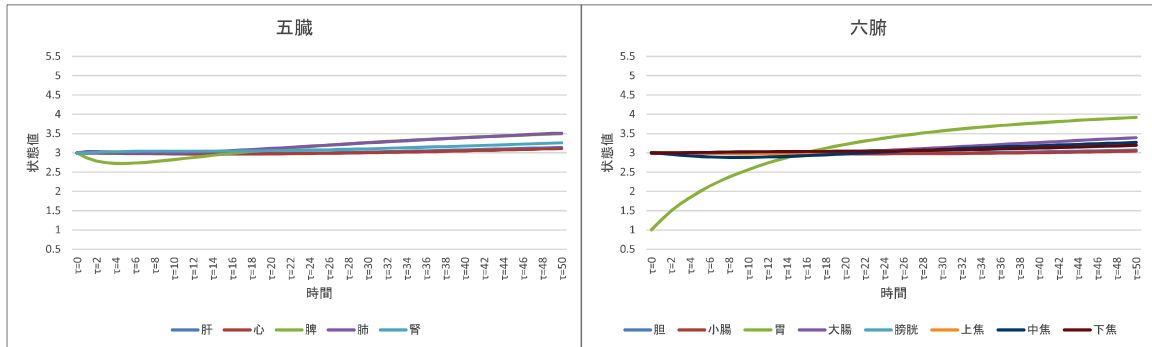


図 6.19: シミュレーション結果 - Case 16

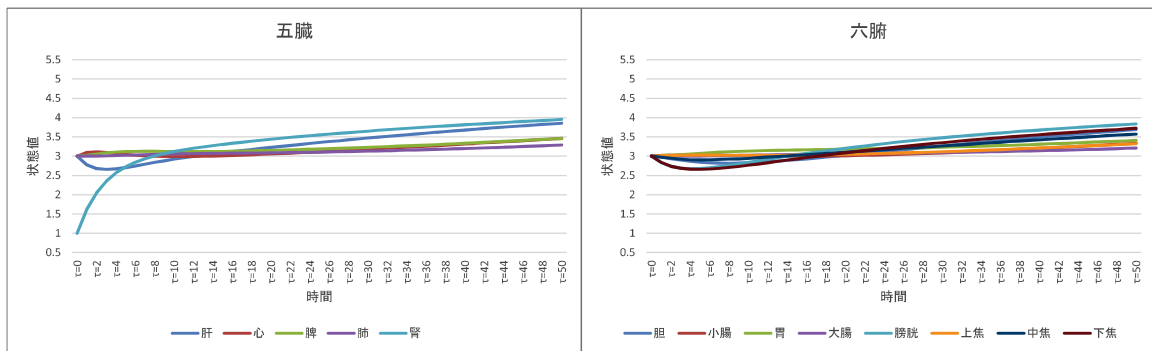


図 6.20: シミュレーション結果 - Case 17

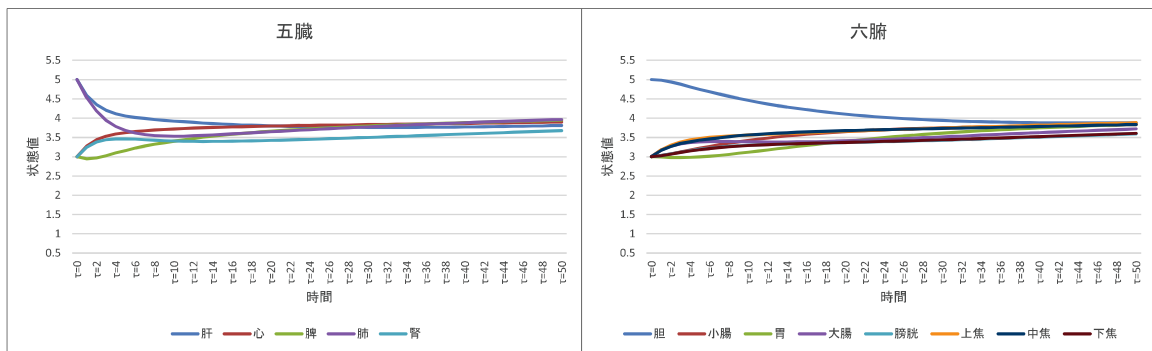


図 6.21: シミュレーション結果 - Case 18

図 6.19-6.21 より、以下のことが得られる。

**Case 16：** 最初、症例の原因は胃の状態が虚（5.0）であったため、胃の状態値を虚（5.0）と設定し、他の臓腑の状態値を健康（3.0）である。  $\tau = 2$  から  $\tau = 6$  までの間に、臓腑間の相互関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の脾の状態値が少し下がっていった。  $\tau = 6$  以降、脾の状態値が徐々に上がり、健康状態（3.0 あたり）までに回復した。しかし、  $\tau = 16$  以降、時間を増やすと共に、胃の状態値が続けて上がり、  $\tau = 26$  に微強状態（3.5 以上）になった。  $\tau = 50$  まで、五臓の肺と六腑の胃の状態値は不健康の状態（3.5 以上）になった。このシミュレーションの結果により、五臓六腑が一時的に健康状態に回復できたが、経穴への刺激を続けると、再び不健康になった。最良の治療時間は、  $\tau = 16$  前後であることが分かる。

**Case 17：** 最初、症例の原因は腎の状態が虚であったため、腎の状態値を虚（1.0）と設定し、他の臓腑の状態値を健康（3.0）と設定した。  $\tau = 2$  から  $\tau = 4$  までの間に、臓腑間の相互関係により、臓腑は互いに影響し合い、五臓の肝や六腑の下焦などの状態値が下がっていった。  $\tau = 6$  以降、肝などの状態値が上がって、  $\tau = 12$  に、五臓六腑の状態値が徐々に健康状態（3.0 あたり）までに回復した。しかし、  $\tau = 18$  以降、シミュレーションの時間を増やすと共に、腎と肝の状態値が徐々に上がって、  $\tau = 26$  に微強状態（3.5 以上）になった。  $\tau = 50$  まで、すべての五臓六腑の状態値は不健康の状態になった。このシミュレーションの結果により、五臓六腑が一時的に健康状態に回復できたが、経穴への刺激を続けると、再び不健康になった。最良の治療時間は、  $\tau = 12$  前後であることが分かる。

**Case 18：** 最初、症例の原因は肺、肝と胆の状態が実であったため、肺、肝と胆の状態値を実（5.0）と設定し、他の臓腑の状態値を健康（3.0）と設定した。ランダムな経穴を刺激することにより、肝、肺と胆の状態値が徐々に下がっていった。しかし、五臓の心、脾、腎と六腑の胆、小腸、胃、大腸、膀胱、三焦の状態値は、時間を増やすと共に、上がっていった。  $\tau = 30$  に、五臓六腑の状態値は微強状態（3.5 あたり）に収束していった。  $\tau = 50$  までは、すべての状態値が上がっていく傾向が見られた。Case 18 と Case 6 の結果を比較すると、ランダムな経穴を刺激することは、病気が治らないこと分かる。

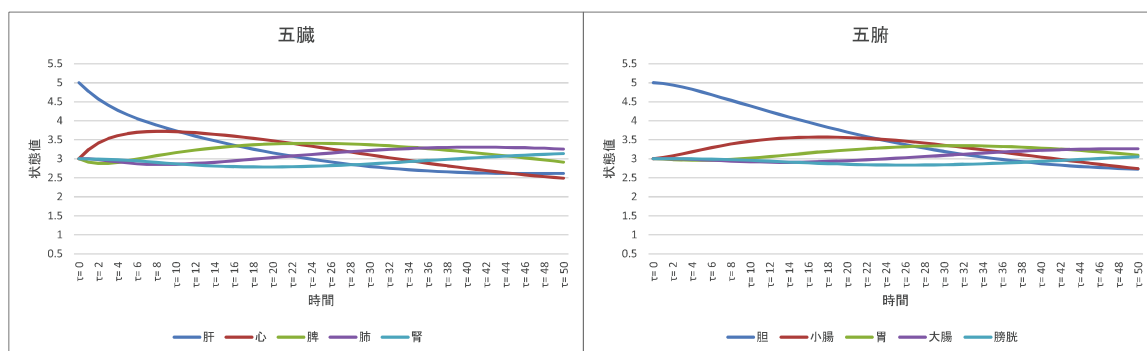


図 6.22: シミュレーション結果 - Case 19

図 6.22 より、以下のことが得られる。

**Case 19**： 最初、症例の原因は肝と胆の状態が実であったため、肝と胆の状態値を実 (5.0) と設定し、他の臓腑の状態値を健康 (3.0) 設定した。「三焦を除いた人体モデル」において、Case 11 と同様の経穴を刺激することにより、肝と胆の状態値が徐々に下がっていった。しかし、 $\tau = 50$  まで、すべての臓腑の状態値は上下起伏があり、収束できない傾向が見られなかった。このシミュレーションの結果から、五臓六腑の状態値は健康状態に回復できなく、病気が治らないことが分かった。

本論文で構築した人体モデルを用いて、合計 19 ケースの鍼灸治療のシミュレーションを行った。シミュレーションの結果により、以下の結論が得られた。

- (1) 1つ目の観点に対して、文献に示されている経穴を用いた鍼灸治療のシミュレーション結果から、五臓六腑はやがて健康状態に回復されたとの結論を得た。その結果より、シミュレーション結果と文献記載の臨床結果と一致していることが確認できた。ただし、Case 13, Case 16 と Case 17 の結果については、 $\tau = 22$ ,  $\tau = 26$ ,  $\tau = 18$  までの結果は臨床結果と一致しているが、その以降の結果は文献の記載にはない。このことについては、今後治療現場での確認が必要である。
- (2) 2つ目の観点に対して、文献記載の経穴を除き、ランダムに選んだ経穴を用いた鍼灸治療のシミュレーション結果から、五臓六腑が健康状態に回復できないことが分かった。そ

の結果より、文献記載以外の経穴では、臨床結果と一致することにならないことが確認できた。

- (3) 3つ目の観点に対して、三焦を除いた人体モデルを用いて行った鍼灸治療のシミュレーション結果から、五臓六腑は健康状態に回復できないことが分かった。その結果より、三焦のないモデルでは文献記載の臨床結果と一致することにならないことが確認できた。(1)と合わせていえば、三焦に関するモデルの構築法は妥当であることがいえる。

以上の(1)~(3)より、本論文で提案した東洋医学の人体モデルは、臨床結果と一致するシミュレーション結果が得られることで、その構築法が妥当であり、構築されたモデルが有用である。

## 第7章 おわりに

本論文では、文献 [10] 提案の五臓間の相生相克を表現した式 (1) を踏まえて、臓腑間の表裏関係を表す式 (2) と (3), 虚実補瀉治療法を表す式 (4) と (5), 気・血・津液の化生と輸送を表す式 (6) と (7), 臓腑の新陳代謝を表す式 (8) を提案した。そして、カラーペトリネットを用いて、式を含んだ五臓六腑モデル, 経脈・経穴モデル, 橋渡し部分であるインターフェース, 気・血・津液の化生と輸送および臓腑の新陳代謝のモデル, それぞれを構築し, 人体モデルを完成させた。さらに, 東洋医学の考え方に基づいた式 (1)-(8) の実行順序を保証するため, 式の計算に影響を及ぼさない補助要素を追加し, シミュレーションモデルを構築した。

そして, 構築したモデルの妥当性を検証するために, 文献 [80]-[83] によって, 臨床で有効と検証された鍼灸治療法に基づき, 鍼灸治療のシミュレーションを行った。その結果, 提案した東洋医学の人体モデルは, 臨床結果と一致するシミュレーション結果が得られることで, その構築法が妥当であり, 構築されたモデルが有用である。

本論文では, システムの静的構造と動的挙動の両方を表現・シミュレーションでき, 生命システムのモデル化や解析に広く応用されているツールであるペトリネットと, 複雑に絡み合う臓腑や経脈などを扱う東洋医学との融合を試みた。提案したモデルはペトリネットを用いることで, 東洋医学における人体の「相生相克関係」, 「表裏関係」, 「経穴から人体への影響」と「気・血・津液から人体への影響」を視覚的に表現できた。また, 鍼灸治療のシミュレーションが可能となり, そのシミュレーションによって, 治療現場で観測できない臓腑状態の変化過程を示すことができた。本論文は, 東洋医学の諸説を基に, 情報科学・情報技術に基づいて, 経験的・臨床的に行われ, かつ定性的な説明しかできていない東洋医学の鍼灸治療の仕組みの解明に対する新しいアプローチを提供するものである。その成果は, 人体の仕組みの解明にも, 新たな



鍼灸治療法の発見にもつながるものである。

一方、現時点で提案した人体モデルについて、いくつかの問題点を今後改善していく必要がある。まず、五臓六腑の働きと関連している「排泄」は、提案のモデルには含まれていないことである。排泄は人体の外部へ老廃物を出すことであり、鍼灸治療上は人体の五臓六腑へ及ぼす影響が微小であると考えられているが、健全な人体モデルを構築するには排泄の過程も加味することが必要である。次に、シミュレーション結果において、「五臓六腑の状態が一時的に健康に戻ったが、時間の増加につれ、再び不健康の状態になった」ことが見られたが、文献の臨床データでは記載されていない。従って、治療現場での調査およびその調査結果に関する考察が必要である。さらに、提案したモデルの各式とパラメータは、東洋医学の文献に基づいて検討した上で設定しているが、人体の各要素間の相互関係をより一層明らかにするために、治療現場における数多くの鍼灸治療データの収集と分析が必要であり、分析の結果を人体モデルに反映させていかなければならない。

従って、本論文に関連する今後の課題として、以下のことが挙げられる。

まず、モデルの構築法については、(1) 本論文で扱われていない「排泄」と臓腑の関係をさらに人体モデルに追加すること、(2) 鍼灸治療用の経穴の中での「主穴」と「配穴」の区別を明らかにして、モデルに追加すること、(3) 治療現場のデータを収集・分析し、各種のパラメータを改善していくこと。また、CPN Tools によるモデルの構築やシミュレーション結果の集計については、(4) 膨大なモデルの読込時間をさらに短縮すること、(5) 自動生成したシミュレーションレポートを効率的に集計することである。

これらの課題を解決するために、まず、「排泄」や「主穴」や「配穴」などに関する東洋医学の資料を調べ、モデルの加え方を考える。そして、実際に鍼灸治療師と連携を取りながら、多くの患者の様々な状態の変化を考察した上で、真実のデータに限りなく近づけるようにパラメータを設定しなければならない。また、CPN Tools あるいは他のツールを探索し、効率的な方法を探す。

## 参考文献

- [1] 兵頭 明,『経絡・ツボの教科書』, 新星出版社, 2012.
- [2] 形井 秀一, “日本鍼灸の歴史”, 全日本鍼灸学会雑誌, vol. 62, no. 1, pp. 12-28, 2012.
- [3] 篠原 昭二, 坂口 俊二, 浦山 久嗣, 香取 俊光, 河原 保裕, 小林健二, “第二次日本経穴委員会の提言”, 医道の日本, vol. 71, no. 5, pp. 142-154, 2012.
- [4] 山下 仁, 津嘉山 洋, “【総説】国際化する鍼灸: その動向と展望 (1) 欧米における普及と臨床研究の進歩”, 日本補完代替医療学会誌, vol. 3, no. 3, pp. 77-81, 2006.
- [5] J.L. Peterson 著, 市川・小林 訳,『ペトリネット入門』, 共立出版, 1984.
- [6] 村田 忠夫,『ペトリネットの解析と応用』, 近代科学社, 1992.
- [7] K. Jensen, L.M. Kristensen, “*Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems*”, Springer, 2009.
- [8] 太田 淳, 辻 孝吉, “ネット理論 - ペトリネットとその解析問題”, 電子情報通信学会 FR 誌, vol. 2, no. 4, pp. 56-67, 2008.
- [9] X.W. Li, Y.M. Wang, X. Liu and Y. Zhang, “*The Summarization on The Quantitative Models of Five Elements*”, BME & Clin Med., vol. 16, no. 4, pp. 411-414, 2012 (in Chinese).
- [10] C.L. Sun, X.Y. Li and L.C. Zhao, “*Fuzzy Modeling and Analysis Based on Five Elements Theory for The System of Five Organs System*”, Journal of Anshan Normal University, vol. 13, no. 6, pp. 1-4, 2011 (in Chinese).

- 
- [11] W.Y. Guo, J.Q. Wu and S. Wang, “*Five elements system modeling and solving*”, Journal of Shanghai Second Polytechnic University, vol. 25, no. 4, pp. 253-256, 2008 (in Chinese).
- [12] P.A. Heng, T.T. Wong, R. Yang, Y.P. Chui, Y. Xie, K.S. Leung and P.C. Leung, “*Intelligent inferencing and peptic simulation for Chinese acupuncture Learning and Training*”, IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed., vol. 10, no. 1, pp. 28-41, 2006.
- [13] J. Pan and M. Zhou, “*Modeling and analysis of meridian systems using Petri nets*”, International Journal of Intelligent Control and Systems, vol. 10, no. 3, pp. 226-234, 2005.
- [14] H. Li, Y.B. Cheng, Y.H. Li, X.C. Ma and D.L. Li, “*Health Assessment System Based on Big Data Analysis of Meridian Electrical Potential*”, Proceedings of the 3rd International Conference on Biomedical Signal and Image Processing, pp. 75-80, 2018.
- [15] P.A. Heng, T.T. Wong, K.M. Leung, Y.P. Chui and H. Sun, “*A Haptic Needle Manipulation Simulator for Chinese Acupuncture Learning and Training*”, International Journal of Image and Graphics, vol. 6, no. 2, pp. 205-230, 2006.
- [16] K.C. Lan, G.S. Li and J.X. Zhang, “*Demo abstract: Toward automated acupuncture therapy*”, Proceedings of the 16th Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 388-389, 2018.
- [17] K.C. Lan, G.S. Li and J.X. Zhang, “*Robot-Assisted Acupuncture (video)*”, Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, pp. 697-698, 2019.
- [18] H. Li, Y. Cheng, Y. Li, X. Ma and D. Li, “*Health Assessment System Based on Big Data Analysis of Meridian Electrical Potential*”, Proceedings of the 3rd International Conference on Biomedical Signal and Image, pp. 75-80, 2018.

- [19] In-Seon Lee, Soon-Ho Lee, Song-Yi Kim, Hyejung Lee, Hi-Joon Park and Younbyoung Chae, “*Visualization of the Meridian System Based on Biomedical Information about Acupuncture Treatment*”, Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, vol. 2013, Article ID 872142, 5 pages, 2013 (<https://doi.org/10.1155/2013/872142>).
- [20] 山口 智, “本学における鍼灸医療の成果と今後の展望 -伝統医療の科学化への道-”, 日本温泉気候物理医学会雑誌, vol. 79, no. 1, pp. 29-31, 2016.
- [21] ジョン・H・ファーガソン, “NIHの鍼灸の合意形成会議 とその後”, 全日本鍼灸学会雑誌, vol. 49, no. 3, pp. 369-374, 1999.
- [22] 笠井 靖代, 小井土 善彦, 前田 尚子, 田口 玲奈, 形井 秀一, “妊婦に対する鍼灸治療の現状”, 全日本鍼灸学会雑誌, vol. 68, no. 4, pp. 238-256, 2018.
- [23] 石崎 直人, 岩 昌宏, 矢野 忠ら, “我が国における鍼灸の 利用状況等に関する全国調査 その1 鍼灸治療の利用況について”, 全日本鍼灸学会雑誌, vol. 55, no. 5, pp. 697-705, 2005.
- [24] 小川 卓良, 金井 正博, 永田 勝太郎, 福田 文彦, 真柄 俊一, 山口 智, 大串 重吉, 齋藤 晴香, 鈴木 昌子, 半田 由美子 “癌と鍼灸: 癌の一次・二次予防 (未病治)、治療、緩和ケアなどに対して鍼灸治療の適応と限界”, 全日本鍼灸学会雑誌, vol. 54, no. 5, pp. 672-685, 2004.
- [25] 小野 直哉, “世界の統合医療の現状-日本の鍼灸の在り方を考えるために- ”, 社会鍼灸学研究, vol. 4, no. 5, pp. 21-70, 2009.
- [26] H. Yamashita, H. Tsukayama and C. Sugishita, “*Popularity of complementary and alternative medicine in Japan: a telephone survey*”, Complement Ther Med, vol. 10, pp. 84-93, 2002.
- [27] 兵頭 明, 『東洋医学のしくみ』, 新星出版社, 2012.
- [28] 教科書執筆小委員会, 『新版 経絡経穴概論』, 医道の日本社, 2009.

- [29] 東洋療法学校協会 編, 教科書執筆小委員会 著, 『はりきゅう理論』, 医道の日本社, 2014.
- [30] 形井 秀一, 谷口 博志, 富田 賢一, 伊藤 和憲, 中村 辰三, “灸法の効果と現状”, 全日本鍼灸学会雑誌, vol. 68, no. 1, pp. 58-75, 2018.
- [31] 孫 広仁, 鄭 洪新, 『中医基礎理論』, 中国中医薬出版社, 2012 (in Chinese).
- [32] 天津中医薬大学, 学校法人後藤学園 編集責任, 劉 公望, 兵頭 明, 平馬 直樹, 路 京華 編集, 学校法人後藤学園中医学研究所 訳, 『針灸学 [基礎篇]』, 東洋学術出版社, 2007.
- [33] 丸山 昌朗, “補瀉について”, 日鍼灸誌, vol. 20, no. 3, pp. 14-16, 1971.
- [34] 辰巳 洋, 『一語でわかる中医用語辞典』, 源草社, 2009.
- [35] 黄 作陣 編, 『中蔵経校注』, 学苑出版社, 2008 (in Chinese).
- [36] 凌 耀星, 『難経語訳』, 人民衛生出版社, 2013 (in Chinese).
- [37] 家本 誠一, 『金匱要略 訳注』, 緑書房, 2013.
- [38] 小曾戸 丈夫, 『傷寒雑病論』, たにぐち書店, 2019.
- [39] 王 財源, “補瀉が生む「気」に対する一考察”, 関西医療大学紀, vol. 6, pp. 59-64, 2012.
- [40] 森川 和宥, 北村 智, 吉備 登, 王 財源, 遠藤 宏, 武内 哲郎, “補瀉迎随手法による neurometry の変化 (その1) —抑制の良導絡への随法手法による変化—”, 日本鍼灸良導絡医学会, vol. 23, no. 1, pp. 1-5, 1995.
- [41] 東 丈夫, 村上 光太郎, 『漢方薬の実際知識増補版』, 東洋経済新報社, 1991.
- [42] 東 丈夫, 『素問』, たにぐち書店, 2006.
- [43] 東 丈夫, 『靈枢』, たにぐち書店, 2006.
- [44] 河北医学院, 『素問経 校訳』, 人民衛生出版社, 2017 (in Chinese).

- [45] 山東中医学院, 河北医学院, 『皇帝内径靈枢經 校訳 上冊』, 人民衛生出版社, 2018 (in Chinese).
- [46] 山東中医学院, 河北医学院, 『皇帝内径靈枢經 校訳 下冊』, 人民衛生出版社, 2018 (in Chinese).
- [47] 宮川 浩也, “三焦新解 その1 三三焦論 張介賓『質疑録』”, 日本内径医学会, no. 36, pp. 16-21, 1991.
- [48] 宮川 浩也, “三焦新解 その8 分類”, 日本内径医学会, no. 43, pp. 17-18, 1992.
- [49] 大友 一夫, “三焦”, 東静漢方研究室, vol. 4, no. 6, pp. 1-13, 1980.
- [50] J.C . Coffey, “*The mesentery : structure, function, and role in disease*”, The Lancet, Gastroenterology and Hepatology, vol. 1, no. 3, pp. 238-247, 2016.
- [51] 寺澤 捷年, “三焦に関する大友一夫学説の妥当性”, 日東医誌, vol. 69, no. 1, pp. 57-66, 2018.
- [52] 薛 永東, 『黄帝内經五臟六腑養生法』, 北方婦児出版社, 2010 (in Chinese).
- [53] 劉 清国, 胡 玲, 『経絡俞穴学』, 中国中医薬出版社, 2012 (in Chinese).
- [54] 表中会 編著, 『臟腑経絡・三焦の弁証と処方』, たにぐち書店, 2011.
- [55] C.A. Petri, “*Kommunikation mit Automaten*”, Bonn : Institut fur Instrumentelle Mathematik, Schriften des IIM Nr. 3, 1962.
- [56] C. A. Petri, “*Fundamentals of a theory of asynchronous information flow*”, Procs. of IFIP Congress 62, Amsterdam : North Holland Publ. Comp., pp. 386-390, 1963.
- [57] A. W. Holt, H. Saint, R. Shapiro, S. Warshall, “*Final Report of the Information Systems Theory Project*”, Tech. Report RADC TR-68-305, Rome Air Develop. Center, Griffis Air Force Base, New York, Sept. 1968.

- 
- [58] A. W. Holt and F. Commoner, “*Events and conditions*”, Princeton, N. J., Applied Data Research Inc., Information System Theory Project, 1970.
- [59] A. W. Holt, “*Introduction to occurrence systems*”, Associative Information Techniques, Jaks, L. (ed.), New York, American Elsevier, pp. 175-203, 1971.
- [60] R. M. Shapiro and H. Saint, “*A new approach to optimization of sequencing decisions*”, Ann. Rev. of Automatic Programming 6, no. 5, pp. 257-288, 1970.
- [61] F. Commoner, A. W. Holt, S. Even and A. Pnueli, “*Marked directed graphs*”, Journal of Computer and System Sciences 5, pp. 511-523, 1971.
- [62] F. Commoner, “*Deadlocks in Petri nets*”, Wakefield, Applied Data Research, Inc., Report # CA-7206-2311, 1972.
- [63] J. B. Dennis, “*Record of the Project MAC, Conference on Concurrent Systems and Parallel Computation*”, New York : ACM, June 1970.
- [64] W. Reisig, “*Petri Nets*”, EATCS Monographs on Theoretical Computer Science, vol. 4, New York: Springer-Verlag, 1985.
- [65] T. Murata, “*Petri Nets: Properties, Analysis and Applications*”, Proc. of the IEEE, vol. 77, no. 4 pp. 541-580, 1989.
- [66] M. Ajmone Marsan, G. Balbo and G. Conte, “*Performance Models of Multiprocessor Systems*”, The MIT Press, Cambridge, MA, 1987.
- [67] 西尾 章治郎, “システム性能評価のための時間および確率ペトリネット”, 計測と制御, vol. 28, no. 9, pp. 760-769, 1989.
- [68] 市川 悖信, 小林 重信, “事象駆動型システムの表現と制御”, 計測と制御, vol. 21, no. 10, pp. 929-938, 1982.

- [69] 児玉 慎三, 熊谷 貞俊, “離散事象システムーネットモデルによるアプローチ”, 計測と制御, vol. 24, no. 7, pp. 623-632, 1985.
- [70] 薦田 憲久, 『ペトリネットによる表現法と解析法』, 電気学会, オーム社, 1988.
- [71] 市川 悼信, 児玉 慎三他, “ミニ特集 ペトリネットー離散事象システムのモデル”, 計測と制御, vol. 28, no.9, pp. 745-788, 1989.
- [72] 椎塚 久雄, 『実例ペトリネット - その基礎からコンピュータツールまで』, コロナ社, 1992.
- [73] J.L. ピータースン, 『ペトリネット入門ー情報システムのモデル化』, 共立出版, 1984.
- [74] 計測自動制御学会離散事象システム研究専門委員会 編, 『ペトリネットとその応用』, コロナ社, 1992.
- [75] K. Jensen, “*Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use Volume 1*”, Springer-Verlag, 1992.
- [76] K. Jensen, “*Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use Volume 2*”, Springer-Verlag, 1995.
- [77] K. Jensen, “*Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use Volume 3*”, Springer-Verlag, 1997.
- [78] CPN Tools homepage, <http://cpntools.org/start>
- [79] 池田 政一, 『経穴主治症総覧』, 医道の日本社, 2017.
- [80] 朱 江, 劉 雲提, 『「図でわかる」中医針灸治療のプロセス』, 東洋学術出版社, 2006.
- [81] 張 仁, 『最新鍼灸治療 165 病』, 三和書籍, 2010.
- [82] 徳地 順子, 丹沢 章八, 「肺気陰両虚証」の咳躰に針治療が奏功した一例, 全日本鍼灸治療学会雑誌, vol. 50, no. 3, pp. 463-469, 2000.



- 
- [83] 中村 真理, 高橋 涼子, 坂口 俊二, 夜泣き児 83 例に対する小児はりきゅう治療の効果, 全日本鍼灸治療学会雑誌, vol. 69, no. 3, pp. 185-193, 2019.
- [84] 藤井 直弥, 大山 啓介, 『Excel 最強の教科書 [完全版]』, SBクリエイティブ, 2017.