

# 神経系による時空間知覚の研究

モデリング研究系  
准教授 瀧澤 由美

## 1 脳科学としての研究の位置づけ

脳が外界をどのように知覚し（感覚系）、判断し（統合系）、行動する（運動系）かに着目し、機能モデルと数理的アルゴリズムの構築を試みる。このモデルでは、受容した感覚信号を入力、脳内に描く計算地図を出力とする。皮膚に加えられた刺激から描かれるもの（体性神経系による空間地図）と、異質の感覚信号から計算によって描かれるもの（感覚神経系による計算地図）とがある。生存に関わる脳の基本機能の一つとして、時空間知覚に着目する。脳の機能を地理的対応によってモデル化し、中枢神経系の動作を記述する数理的アルゴリズムを構築した。脳内地図の地理的対応は、脳が外界をどのようにとらえ制御するかの基本モデルとして位置づけられるということが、最近の脳の諸研究の中で示唆されるようになった。これらの知見は特定の入力条件に対する知覚出力結果の生理学的観測から得られた物である。脳内地図の地理的対応は、単に脳による時空間の知覚という特定の命題を超えて、感覚および運動系を含む、中枢神経系の基本的機能ととらえている。

## 2 数理モデルの構築と解析の理論

[ テーマ 1 ] ニューロンの集合体としての中枢神経系の研究

神経節（末梢神経）、神経核（中枢神経）および脳・脊髄を含む広義の中枢神経系の数理的モデルとアルゴリズムである。具体例は時空間知覚です。このモデルの機能は、感覚系、運動系にわたる中枢系による刺激入力を計算し、地図を脳内への出力として描く。このモデルとアルゴリズムは、

(a) 評価関数を予測誤差  $F_1$ 、重複性  $F_2$ 、有効な解（根）の数  $F_3$  よりなる誤差最小化の適応演算（収束）、

(b) この数学的アルゴリズムの ニューロン集合体の動作アルゴリズムへ対応付け、よりなる。

[ テーマ 2 ] ニューロン単体の電気的特性の研究

ニューロン単体がイオンをキャリアとし、入力、制御、出力のポートからなる半導体と同一原理（potential theory）よりなること、その数理・数値的解析と評価。

テーマ 2 は、別論「ニューロンとその集合体の電気的構成と特質」による。

## 3 時空間解析への適用と具体的計算例

発生場所、発生時刻ともに不明の複数の波源からの信号を受信して、それらの波源の地点の座標、時刻を決定できた。通常の PC では計算時間は、同時に 18 個の発生源に対して 1 分ほどで、更新数 3~4 回で収束し、ほとんど誤差 0 であった。このときのニューロン数は約 16 万個である。同時決定可能な数は、高能力の PC ならば数 10 個ぐらいまで可能で、このときのニューロン数は 1 千万~1 億個に達する。ちなみにパーセプトロンでは波源 1 個のとき、約 4000~8000 回の更新演算を要し複数波源には適用できない。

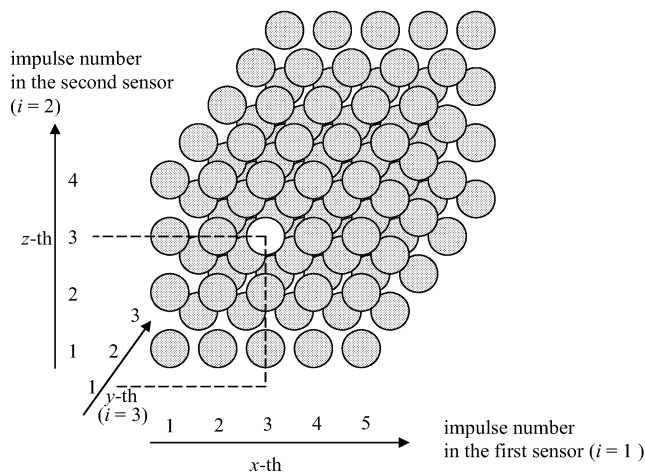


図1 ニューロンの空間への密な充填 (3次元)

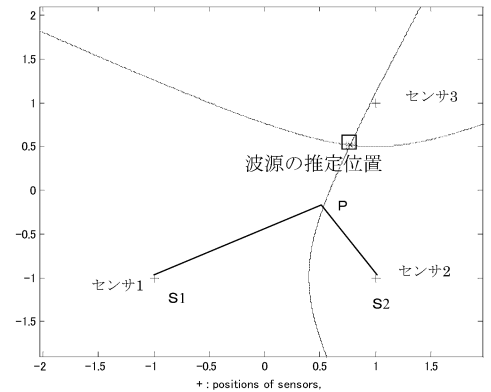


図2 3センサーの受信位相差による定位

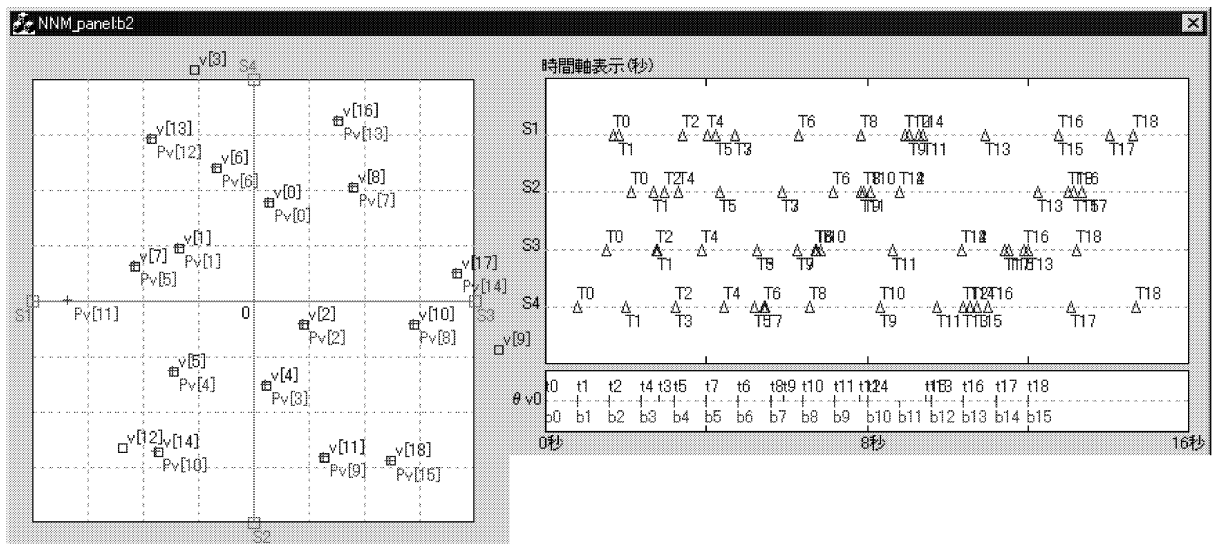


図3 複数波源からのランダムパルスの発生と時空間解析の計算地図  
 右上：パルス時空間系列、右下：発生時刻、左：空間地図、  
 ニューロン数 160,000、センサー数 4、1 辺の長さ 1000m の正方形平面  
 1 フレーム内の波源数 16、フレーム長 16 秒間

## 4 まとめ

上述のこれまでの研究成果では、文章による定性的記述であり、これでは客観的判断や異なる条件の下での応答特性などを知ることが出来ない。そこで数理による客観的記述が求められる。この意味で、当研究の成果は、脳における情報処理のモデルとアルゴリズムを構築し、しかもこれによって従来解けなかった問題の解法を与えた点にある。