

## 研究内容、成果、2005年度研究活動報告

### 1) 研究内容

キーワード：クラスIニューロン、ギャップジャンクション、カオスの遍歴、ニューロン発火の同期非同期、in-out intermittency, on-off intermittency

ニューロンを外部電流刺激の強さに対する発火特性の見地から分類するとクラスIニューロンとクラスIIニューロンに大別される。おおざっぱに言うところクラスIIは下等生物のニューロン、クラスIは哺乳類のニューロンである。これらのニューロンに対して微分方程式によるモデルがいろいろ提唱されているが、クラスIIとクラスIのモデルの数理的な違いはスパイク生成の機構が前者はsubcritical Hopf分岐であるのに対し、後者はsaddle-node分岐である。

ニューロン同士の結合には神経伝達物質を介在して結合する化学シナプスとニューロン同士が直接接触している電気シナプス(ギャップジャンクション)がある。ギャップジャンクションは従来は下等動物などでは存在するが、哺乳類などでは存在しないと思われていたが、近年哺乳類の脳新皮質で膨大な数のギャップジャンクションの存在が報告されている。

しかし、クラスIニューロンのギャップジャンクションによる結合系の動力学、またギャップジャンクションの脳内の情報表現における役割に果たしているであろう機能的役割はあまり研究されていない。ここ数年、ギャップジャンクションがニューロンのスパイク発火のシンクロニー(同期)を促進する等の報告がなされているが、この結合系で起こるカオスやカオスの遍歴に注目した研究はほとんどなされていない。(カオスの遍歴は高次元の系において低次元のアトラクター痕跡の間を高次元のカオスの状態を経由して移り行く現象)

そこで、クラスIニューロンのモデルをギャップジャンクションで結合した系のシミュレーションを行って、そこで起こるカオスやカオスの遍歴について調べ、ギャップジャンクションの脳内の情報表現における役割を探っている。

### 2) 成果

クラスIニューロンのサブクラスであるクラスI\*ニューロンの簡便モデルである $\mu$ モデルのギャップジャンクション一次元最近接結合ネットワークについてのシミュレーションを行ない、ニューロンの個数に依らず比較的広いパラメータ領域で、過渡的な同期状態、幾つかのメタクロナル状態、カオス状態の間で繰り返し遷移が起こる現象を見出している。これらの現象のうち幾つかについてその構造とメカニズムを明らかにしている。

### 3) 2005年度研究活動報告

昨年度(2004年度)までの研究で、クラスI\*ニューロンの簡便モデルである $\mu$ モデルのギャップジャンクション一次元最近接結合系についてのシミュレーションでin-out intermittencyとカオスの遍歴が引き続き起こることを見出し、in-out intermittencyのメカニズムの解析を行ってきた(この結果については2005年の春の物理学会で発表、CHAOSに投稿中)。

今年度(2005年度)は同じ系において、別のパラメータ領域でintermittencyとカオスの遍歴が連続して起こることを見つけたので、その構造とメカニズムを調べてきた。このintermittencyは鏡映対称性を持つ不変部分空間内に存在するカオス状態が横断方向に不安定になって起こるon-off intermittencyであることを明らかにした。またこのon-off intermittencyのアトラクタが不安定化してアトラクタ痕跡になり、それと高次元カオスとの間を行き来するカオスの遍歴の機構がクライシス誘起intermittencyであることを明らかにした(この結果については2005年秋の物理学会で山口裕氏が第一著者で発表)。

以上の研究は当専攻の津田一郎教授、大学院生山口裕氏、京都産業大学藤井宏教授との共同研究です。

## 発表論文リスト

1. "Nucleon-Nucleon Short-range Correlation and High Momentum Components in Nuclei"  
Satoru Tadokoro, Toshiyuki Katayama, Yoshinori Akaishi and Hajime Tanaka,  
Progress of Theoretical Physics, 78(1987) 732-735, October 1987, Progress Letters"
2. " $\Sigma$ -Hypernuclear States in  $^{208}\text{Pb}$ "  
Khin Swe Myint, Satoru Tadokoro and Yoshinori Akaishi,  
Progress of Theoretical Physics 82(1989) 112-118, July 1989
3. " $\Sigma$ -Hypernuclear States in  $^{208}\text{Pb}$  and the Nucleus- $\Sigma$  Potential"  
Satoru Tadokoro,  
Ph. D Thesis, Hokkaido University, September 1990
4. "Nucleus- $\Sigma$  Potential"  
Satoru Tadokoro and Yoshinori Akaishi,  
Physical Review C42(1990) 2591-2596, December 1990
5. "Production of heavy  $\Sigma$ --Hypernuclei by the  $(\pi^-, K^+)$  Reaction"  
Satoru Tadokoro and Yoshinori Akaishi,  
Physics Letters B282(1992) 19-23, June 1992
6. "Calculation of Proton Spin-dependent Structure Functions in Quark Models"  
Satoru Tadokoro, Hisashi Kitagawa and Toru Suzuki,  
Physical Review D47(1993) 3045-3048
7. "Calculation of Proton Spin Structure Functions in Quark Models"  
Satoru Tadokoro, Hisashi Kitagawa and Toru Suzuki,  
Frontiers of High Energy Spin Physics (Proceedings of High Energy Spin Physics, 9-14 November 1992, Nagoya, Japan, Universal Academy Press, 1993) edited by Hasegawa et al., 567-570
8. " $\Xi$ -Hypernuclear States in Heavy Nuclei"  
Satoru Tadokoro, Hisashi Kobayashi and Yoshinori Akaishi,  
Nucl. Phys. A585(1995) 225c  
(Proceeding of International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics, Vancouver, B.C. 4-8 July, 1994)
9. "Escaping of Quasi-free  $\Xi^-$  at  $(K^-, K^+)$  reaction point and  $\Xi N$  interaction"  
Satoru Tadokoro and Yasuo Yamamoto,  
Nucl. Phys. A585(1995) 361c  
(Proceeding of International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics, Vancouver, B.C. 4-8 July, 1994)
10. " $\Xi$ --Hypernuclear States in Heavy Nuclei"  
Satoru Tadokoro, Hisashi Kobayashi and Yoshinori Akaishi  
Physical Review C51(1995) 2656
11. "Chaotic Itinerancy in Cortical Gap Junction Systems and Its Functional Significance"  
I. Tsuda, H. Fujii\*, S. Tadokoro, T. Yasuoka, and Y. Yamaguti  
Journal of Integrative Neuroscience 3(2004) 159-182
12. "In-Out Intermittency in Gap Junction-Coupled Class I\* Neurons"  
S. Tadokoro, Y. Yamaguti, I. Tsuda and H. Fujii\*  
Hokkaido University Preprint Series in Mathematics, #762.
13. "In-Out Intermittency in Gap Junction-Coupled Class I\* Neurons"  
S. Tadokoro, Y. Yamaguti, I. Tsuda and H. Fujii\*  
Submitted to CHAOS

## 口頭発表リスト

### 国際会議に於ける発表

1. " $\Sigma^-$ -Hypernuclear spectra from the  $208\text{Pb}(\pi^-, K^+)$  Reaction"  
Satoru Tadokoro and Yoshinori Akaishi,  
International Symposium on Hypernuclear and Strange Particle Physics,  
December 9-12 1991, Shimoda
2. "Calculation of Proton Spin Structure Functions in Quark Models"  
Satoru Tadokoro, Hisashi Kitagawa and Toru Suzuki,  
10-th International Symposium on High Energy Spin Physics,  
November 1992, Nagoya
3. " $\Xi^-$ -Hypernuclear States in Heavy Nuclei"  
Satoru Tadokoro, H. Kobayashi and Y. Akaishi  
International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics,  
Vancouver, B.C. 4-8 July, 1994
4. "Escaping of Quasi-free  $\Xi^-$  at  $(K^-, K^+)$  reaction point and  $\Xi N$  interaction "  
Satoru Tadokoro and Yasuo Yamamoto  
International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics,  
Vancouver, B.C. 4-8 July, 1994

### 日本物理学会における発表

1. "y-スケーリング関数と核内の高運動量成分"  
田所智、片山敏之、赤石義紀、日本物理学会1986年秋の分科会、  
1986年10月、神戸市（甲南大学）
2. "スペクトル関数と核内の高運動量成分"  
田所智、片山敏之、赤石義紀、田中一、日本物理学会第42回年会、  
1987年3月、名古屋市（名古屋工業大学）
3. "核子間短距離相関と核内核子間の相対運動量分布"  
田所智、森田彦、片山敏之、赤石義紀、田中一、  
日本物理学会1987年秋の分科会、  
1987年10月、宇都宮市（宇都宮大学）
4. "Spectroscopic Amplitude for  $(3\text{He}, d)$  and  $(d, d)$  Reaction"  
森田彦、田所智、赤石義紀、田中一、日本物理学会1987年秋の分科会、  
1987年10月、宇都宮市（宇都宮大学）
5. " $\Sigma^-$ -hypernuclear States in  $208\text{Pb}$ "  
Khin Swe Myint、田所智、赤石義紀、  
日本物理学会第44回年会  
1989年3月、平塚市（東海大学湘南校舎）
6. " $\Sigma^?$ ハイパー核のLS力"  
田所智、赤石義紀、日本物理学会1989年秋の分科会、1989年10月、  
宮崎市（宮崎大学）
7. "重い $\Sigma$ ハイパー核"  
田所智、Khin Swe Myint、赤石義紀、日本物理学会  
1990年秋の分科会、1990年10月 奈良市（奈良女子大学）
8. "重い $\Sigma$ ハイパー核の生成"  
田所智、赤石義紀、日本物理学会1991年春の分科会、1991年3月 東京

(東京理科大学)

9. "Σ ハイパー核生成と核子間短距離相関"

田所智、日本物理学会第46回年会、1991年9月、札幌市(北海道大学)

10. "Structure Functions of the Proton in Quark Models"

田所智、北川尚、鈴木徹

日本物理学会1992年秋の分科会 1992年10月、新潟市(新潟大学)

11. "核子の表面形状と構造関数"

北川尚、田所智、鈴木徹、

日本物理学会1992年秋の分科会 1992年10月、新潟市(新潟大学)

12. "S=-2 Heavy Hypernuclei"

田所智、Khin Swe Myint、新村昌治、赤石義紀

日本物理学会1992年秋の分科会 1992年10月、新潟市(新潟大学)

13. "Structure Functions of the Proton in Quark Models II"

田所智、北川尚、鈴木徹

日本物理学会第48回年会 1993年3月、仙台市(東北大学)

14. "光円錐波動関数での構造関数"

北川尚、田所智、鈴木徹

日本物理学会第48回年会 1993年3月、仙台市(東北大学)

15. "Parton Distributions in the Nucleon"

田所智、北川尚、鈴木徹

日本物理学会1993年秋の分科会 1993年10月、高知市(高知大学)

16. "Distribution of Perturbative Gluon in Bag Models"

北川尚、西野吉則、田所智、鈴木徹

日本物理学会1993年秋の分科会 1993年10月、高知市(高知大学)

17. "重いΞ ハイパー核"

田所智、小林広幸、赤石義紀

日本物理学会第49回年会 1994年3月、福岡市(福岡工業大学)

18. "Λ-hypernuclear Spectra from (π+,K+) Reactions"

田所智、小林広幸、赤石義紀

日本物理学会1994年秋の分科会 1994年9月、山形市(山形大学)

19. "Ξ ハイパー核生成 II"

田所智、小林広幸、赤石義紀

日本物理学会1994年秋の分科会 1994年9月、山形市(山形大学)

20. "Ξ- escaping at the (K-,K+) Reaction points and ΞN interaction"

田所智、山本安夫

日本物理学会1994年秋の分科会 1994年9月、山形市(山形大学)

21. "ギャップジャンクションで結合されたI\*類ニューロン系におけるカオスの遍歴"

田所智、山口裕、津田一郎、藤井宏

日本物理学会第60回年次大会 2005年3月、野田市(東京理科大学野田キャンパス)

22. "ギャップジャンクション結合されたI\*類ニューロンの回路網におけるカオスの遍歴の機構について"

山口裕、田所智、津田一郎、藤井宏

日本物理学会2005年秋季大会 2005年10月、京田辺市（同志社大）

研究会での発表

1. "Nucleus- $\Sigma$  Potential"

田所智、赤石義紀

基研モレキュール研究会『 $\Sigma$  ハイパー核の理論的研究』

1990年8月 基礎物理学研究所

2. "連続状態の $\Sigma$  ハイパー核"

田所智、赤石義紀、向井重雄

核研研究会『Hypernuclear and Strange Particle Physics』

1990年12月 東京大学原子核研究所

3. "Production of Heavy  $\Sigma$ -Hypernuclei by the ( $\pi^-$ ,  $K^+$ ) Reaction"

田所智、赤石義紀

基研長期研究会『ハイパー核の構造、生成、崩壊』

1991年8月 基礎物理学研究所

4. "陽子のスピン構造関数"

田所智、北川尚、鈴木徹

名古屋大学理学部研究会『ハドロン構造とスピン』

1992年2月 名古屋大学理学部

5. "核子の構造関数のモデル計算"

田所智、北川尚、鈴木徹

RCNP研究会『原子核におけるクォーク、ハドロンのダイナミクス』

1992年6月 大阪大学RCNP

6. "重いダブルハイパー核"

田所智、Khin Swe Myint、新村昌治、赤石義紀

原子核研究所研究会 『ストレンジネスの物理』

1993年2月 東京大学原子核研究所

7. "核子の構造関数のモデル計算"

田所智、北川尚、鈴木徹

RCNPワークショップ 『核子及び原子核の構造関数』

1993年8月

8. "Q<sup>2</sup>-evolution of the Nucleon Structure Function"

田所智、北川尚、鈴木徹

基研研究会『原子核に於けるクォーク、ハドロンのダイナミクス』

1993年12月 京都大学基礎物理学研究所

9. "バグ模型に於けるグルオン分布関数"

北川尚、田所智、鈴木徹

基研研究会『原子核に於けるクォーク、ハドロンのダイナミクス』

1993年12月 京都大学基礎物理学研究所