

2-4 様々な分野におけるチョムスキー言語役割

- 代表者 鈴木 理 (情報システム解析, 教授)
- 分担者 戸田誠之助 (情報システム解析, 教授)
- 谷 聖一 (情報システム解析, 教授)
- 森 真 (数学, 教授)
- 茂手木公彦 (数学, 教授)
- 吉岡 卓 (情報システム解析, 助教)
- 佐々木隆 (京都大学基礎物理研究所, 教授)
- 小嶋 泉 (京都大学数理解析研究所, 准教授)
- 岩部直之 (京都大学理学部生物学科, 助教)
- 濃野聖明 (福岡教育大学数学教育, 教授)
- 綿谷安男 (九州大学理学部数学, 教授)

【研究の概要および結果】

本研究の目的は形式言語のひとつである整合括弧列の作る言語に様々な単語を持ち込むことより数学, 物理, 生物等に見られる様々な現象が理解できることを示し, これにより自然現象の成り立ちの根底にはチョムスキー言語あるいはチューリング・マシンの構造があることを示すことである。

まず, 具体的にどのような問題が考察されるかを述べる。自然現象のなかには, 二つの相対する性質が拮抗することにより成立している現象は多くみられる。これらは場合に依じて「双対性」, 「相補性」あるいは「カイラリティ」と呼ばれている。本研究においては, これらの現象の基礎にあるのは形式言語の「非終止部分」と「終止部分」の結合であるという視点をとる。この形式言語を様々な分野に「表現」することにより, 生物, 物理, 数学を統一的に理解できることを示す。

つぎに本研究で取り扱われる主題を述べる。

(1) 結び目理論, (2) 非結合代数, (3) 場の量子論 (ボゾン場), (4) トランスポゾンをもちいた, 形式言語, チューリング・マシンの記述 (5) チョムスキー文の分布解析 (ゆらぎ解析) 以下それぞれの主題について得られた研究の概要と結果について述べる。

以下各主題について, 研究の目的, 得られた結果, 今後の課題について述べ, 最後に研究についての反省, 今後の課題について述べる。

(1) **結び目理論 : (研究の目的)** まず結び目理論を考察する理由を述べる。もちろん数学的にも対象が簡単であり容易に人に説明可能な適当な数学的な主題であるとは言えるが, それだけではない。実際に宇宙論的なマクロの世界にも, 銀河系の分布にもひも状構造が見出される。また, ミクロな世界を記述する素粒子論においても現在「紐理論」が話題の中心になっており, 素粒子の構成要素は粒子ではなく紐であるという認識の背後にも結び目がある。我々の身体の大きさにおいても, 遺伝子にも紐構造が見出される。このように紐はミクロからマクロまでを一貫して記述できる可能性をもつ極めて重要な主題であるといえる。我々は紐を調べるにあたり, 形式言語の方法を用いる。それはDNAにおいても核酸の列で記述されること, 素粒子においてもクオークにより構成されることから正当と思われる。**(得られた結果)** 我々は結び目を定める曲線をたどることによりその交点の上下を区別して番号をふるることにより数列をうる。これを結び目言語ということにする。結び目は基本的な結び目にライデマイスター移動を行うことにより得られることが示されている。第一種のライデマイスター移動を行ってえられる結び目に対する結び目言語はチョムスキー言語をもちいて記述されることに注意する。我々は本研究において結び目数列のタ

イブを決定することができ、この言語を用いて紐を記述する方法を与えた。**(今後の課題)** この結果第二種のライデマイスター移動はチョムスキー言語の木構造の枝同士を結ぶ効果を表し、第三種のライデマイスター移動はチョムスキー言語の木構造にシャッフルする効果を与えていることが分かった。これはDNAの行っている作用をよく説明する可能性がある。このような作用を銀河生成、素粒子の生成と関係して議論することは今後の課題と考えられる。

(2) 非結合代数：(研究の目的) 普通の数例えば実数、複素数あるいは行列においてはその積を計算するにあたって積の順序を変えることなくどのように纏め上げて積を計算してもその値は変わらない。ところが八元数のような数は纏め方によりその値が異なってしまう。このような数を非結合代数という。一般に代数学を研究している研究者でさえこの非結合代数を考察することは稀であり、これを考察する研究者は例外的あるいは「オタク」と呼ばれる人々に属している。本研究の出発点は代数の積構造を文章の主語部と述語部にわけて考察するチョムスキーの文章理論を基礎において考察することにある。この立場でいうと、殆どの文章は非結合的であり、非結合性は日常的である。本研究においてはこれをもとに非結合代数を考察することを試みる。**(得られた結果)** この考察の結果次の事柄が明らかになった。結合代数はチョムスキー文章のうちでも極めて単純な、例えば「私は教授である」、「私の父は教授である」、「私の父の父は教授である」と言った文章である。If-文、because-文のような少しでも複雑な内容は非結合代数に対応する文章となる。ここではチョムスキー文の構造あるいはメンデルの法則から導かれる代数構造を導入してflexible代数あるいはヨルダン代数の構成を与えることができた。こうして進化論手法を代数学に導入することにより、非結合代数が自然に構成され、分類理論を構成が出来ることが分かった。

(3) 場の量子論：(研究の目的) 我々人間がどうして物理現象を理解することが可能のかについては当たり前の事実であると考え、その理由を考えようとはしない。しかしいざこのことを説明せよといわれると簡単に答えることが出来ないであろう。本研究の目的は物理の世界にもチョムスキー言語の構造があることを示すことにある。この事実により上の問いについて答えを見出す可能性を見出そうと考えている。**(得られた結果)** 本研究においてはボーズ場の生成をチョムスキー文章の開き括弧に対し生成演算子に対応させ、閉じ括弧に対し消滅演算子に対応させるとチューリング・機械を場の量子論に実現することが出来ることを示す。チョムスキー文の成立条件は真空の励起条件として表される。こうして物理現象の最も基礎的な部分がチョムスキー文の構造をもつことが分かり、この事実を基礎にどのように人々が物理現象を理解可能かを考えることができると期待される。このような事実の指摘は初めて本研究によりなされた。これに基づき様々な分子物理学の現象を記述することができる。例えば、糖類等の高分子はチョムスキー文章の分類に応じて構成出来るものと期待される。実際物理理論を用いて記述される、結晶・高分子はむしろ形式言語を用いて記述するほうが簡単であるということが幾つかの分野でも明らかになっている。**(今後の課題)** また真空の構造がチョムスキー文章の成立条件で表されることはきわめて重要である。これは宇宙論の記述において、どうして素粒子に対して反粒子が対応するかを考察する基本となる可能性をもつと言えるしビッグ・バンがどうして生じたかを考察する基盤を与えることになると思われる。また、ノーベル賞受賞者である南部陽一郎氏の提案である無限生成の粒子系のもつ真空に対する相転移の理論から、論理性の破壊する文章の生成を記述することは興味ある主題と言える。

(4) トランスポゾンによる分子進化の記述：(研究の目的) 以上の物理あるいは数学におけるチョムスキー言語の役割をみるとDNAに対してもチョムスキー言語の方法が有力であろうことが予想される。実際、DNAの相補性は文章の成立条件といえるであろう。ここでは単語は4種類の核酸であり、文法はその相補条件であると考えられる。我々は相補条件を「AはAである」と言う自明な文章であると理解する。DNAの生成あるいはこれから導かれる個体の生成等がどのようにして得られるかを考察することを目的とする。本研究においては言語理解機能をこの立場で考察する。**(得られた結果)** ここでは簡単のため0と1からなるDNAを考える。チョムスキー文を考えこれを

変形することにより「AはAである」というトートロジカルなセンテンスにすることにより文章を理解することであると考える。このときDNAの基本演算に対応する演算(1) substitution mutation, (2) transition mutation (3) トランスポゾンのもつ演算により文章が理解されることが示された。(今後の課題) 1994年にペーボ教授(マックス・プランク研究所)は言語理解に関するDNAとしてFOX-P2遺伝子を見出しDNAレベルでの言語理解の考察が始められた。トランスポゾンはヒトあるいはチンパンジーの知能に係る遺伝子と考えられており、以上の仮説が実際の進化生物学の現象を記述するかどうかを考えることは今後の重要な主題と考えられる。

【研究の考察・今後の課題】

以上の考察からチョムスキー文法の自然科学における役割が理解される。基本的なパラダイムの変更は自然に原理があるのではなく人間の認識の仕方に理解の原理があるということにある。以上の考察より、チョムスキー文法が本来の言語としての役割だけでなく生物・物理・数学のかなり基本的な現象の理解にも役割をはたしていることが分かる。最近は時間についても新しい視点が与えられている。それは生体時間を記述する遺伝子が見出されておりさらにこれらを統制する遺伝子も見出されているという。これよりどのようにして物理を記述する時間がえられるのかを考察することも同じ考察方向をもつものであり、時間の本質を解明することに貢献するものと思われる。カントはその著書純粋理性批判において時間の役割を現象の理解においている。チョムスキー言語が言語理解に係ることに期待するなら時間をチョムスキー文法の立場から理解できるかもしれない。いずれにしろ、「人間理解」から「自然理解」への方向を今後も追及することは正しい道筋であるといえる。

【研究発表】

(発表論文)

[1] Osamu Suzuki (with Julian Lawryonwicz, Malgorzata Nowak-Kepczyk): A duality theorem for inoculated graded fractal bundles vs. Cuntz algebra and central extensions, *Int. Nat. Jour. of Pure and Applied Math.* Vol. 52, No 3 (2009), 315-337

[2] Osamu Suzuki: Recent developments on iteration dynamical systems on the plane lattice *18-th International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering*, K. Gürlebeck and C. Könke (eds.), Weimar, Germany, 20069 (ISSN 1611-4085)

[3] Osamu Suzuki (with Taturou Ogata and Julian Lawrynowicz): *Livov Mathematical School in the Period 1915-1945 as seen Today*, Banach Center Publications, vol. 87 (2009), 115-140

[4] 鈴木 理(麻生庸介, 松尾美幸, 濃野聖晴との共著): チョムスキー文の分布則とそのゆらぎ解析, 数理解析研究所考究録1658「非可換解析とマイクロ・マクロ双対性」205-218 (2009).

[5] 鈴木 理: トランスポゾンから導かれる演算により定められる整合括弧列のDNAモデルとチューリング・マシン: 数理解析研究所考究録1649「理論計算機科学の深化と応用」89-96 (2009).

[6] 鈴木 理(上谷雄一, 岡田蓉子, 堀口 俊, 前川達夫との共著): 形式言語による結び目の実現問題に対する幾つかの予想: 数理解析研究所考究録1649「理論計算機科学の深化と応用」97-104 (2009).

[7] 鈴木 理: トランスポゾンから導かれる演算により定められるチョムスキー言語の生成と言語理解機能の数理解析研究所考究録1663「第5回生物数理の理論とその応用」130-135 (2009).

(研究発表).

[1] 鈴木 理: 「代数についての形式言語の方法」, RIMS共同研究, 非可換解析とマイクロ・マクロ双対性2009.

11.3～5

[2] 鈴木 理：「Fixed point theorem and periodicity theorem for iteration dynamical systems of discrete Laplacian」,
RIMS 共同研究, 非可換解析とミクロ・マクロ双対性2010. 2. 1～3