



Title	数学的帰納法と言語構造〔上〕
Author(s)	森塚, 文雄
Citation	大阪外大英米研究. 1971, 7, p. 1-13
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/98984
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

数学的帰納法と言語構造〔上〕

森 塚 文 雄

1. 科学と言語 すべての近代科学は、その淵源を古代ギリシアに発すると言われながら、真の意味の「科学としての言語学」はこの地では遂に結実しなかったのは誠に奇異な事実である。その主な理由は、古代ギリシア人の直接の言語研究の対象が自国語だけに限られていたため、ギリシア語の構造が人間の思考とか宇宙の秩序の普遍的形式を具現するものと思ひこんでいたためである。彼らのなした文法的観察の範囲もただ自国語内に限定され、その説明方法は抽象的・哲学的・思弁的なもので、科学的記述の名に値いしないものであった¹⁾。

この非科学的な古代ギリシア人の学説が中世ヨーロッパ諸国の言語学者たちの間に引きつがれ、インド・ヨーロッパ諸語の構造に見られる特異性が、広く人間言語に普遍的のものであるとする偏狭な謬見が巾をきかし、これが現在の学校教育の場において依然根強く残っている。

真に科学的な言語研究として、ギリシア以降のヨーロッパ人の言語観に革命的な変化をもたらしたのは、第十九世紀初頭はじめてヨーロッパに紹介せられた Pāṇini (B. C. 300年頃) その他の印度文法家がサンスクリット語に与えた純粹に科学的な記述の方法である²⁾。このヒンズー人の文法は、先入主に囚われることもなく哲学的思索によってじゃまされることもない科学的なものであって、それから2、30年の間にヨーロッパの文法家は、一つ一つの言語を、その言語自身の構造に基づいて記述することを学んだが、この点において最大の進歩をとげたものは米国の言語学者・人類学者 E. Sapir, H. Hoijer らのア

〔註〕

1) 2) L. Bloomfield, *Language*, Ch. I; O. Jespersen, *Language*, Ch. I.

メリカ・インディアン諸言語の研究であろう³⁾。

一方において、近年、科学とくに自然科学の目覚ましい進歩は、その反面各個別科学の研究領域の急速な専門化・細分化・孤立化の傾向を醸成したが、これに対してすべての科学の根底にある共通の理想に基づいて分離した個別科学を一つの統一的・普遍的科学として把握し、科学全体の調和的發展をめざす、いわゆる「科学統一運動」(*G. Einheitswissenschaft ; E. Unity of Science Movement*) が、1924年ウィーンのM. Schlick, R. Carnap, O. Newrath らの「ウィーン学団」(*G. Wiener Kreis ; E. Vienna Circle*) によって提唱された。この運動は欧米諸国において多大の反響を呼び、大きな国際的哲学運動にまで発展して数多の新しい成果をおさめ、1938年ナチス・ドイツのオーストリア合併に伴う学団解散後もアメリカ合衆国、イギリスにおいて戦後も活躍を続けている。当然のことながら、この運動は各方面の専門家の緊密な協調という喜ばしい成果をあげ、とりわけ第二次大戦を契機として驚異的發展を遂げた自然科学のすぐれた成果を人文・社会両科学の分野にとりいれようとする傾向が急激に強まった結果、いくたの新しい境界領域の学問が生まれるに至った⁴⁾。

言語学と諸他の科学、殊に基礎科学としての数学との緊密な協調と相互理解を押し進める必要性は、すでに今世紀初葉、現代の言語構造分析論の二大先駆者、J. B. de Courtenay, F. de Saussure によって叫ばれていたが、最近になって電子工学技術の粋ディジタル電子計算機による二国語間の機械翻訳 (*Machine Translation*) とこれに伴う「機械言語」(*Machine Language ; "Machineese"*) プログラミング、C. E. Shannon, W. Weaver らの情報理論 (*Information Theory*)、B. Russell, A. N. Whitehead らの近代記号論理学〔数学的論理学〕(*Symbolic Logic ; Mathematical Logic*)、更に G. Cantor らの集合論 (*G. Mengenlehre ; E. Set Theory*) をはじめ関係論 (*Relation Theory*)、グラフ理論 (*Graph Theory*)、帰納的関数論 (*Recursive Function Theory*)、

3) 4) L. Bloomfield 著、森塚訳「科学の言語面」(研究社、英語学ライブラリー (43)), iii f., p. 76f.

近代代数学 (Modern Algebra), 確率論 (Theory of Probability) などの新数学の理論が矢つぎ早やに言語学に導入されてきている。

最近ではアメリカ合衆国の各地をはじめヨーロッパ諸国において応用言語学, 応用数学, 統一科学などの旗印のもとに大規模な国際会議やシンポジウムが開催せられ⁵⁾, 言語学者, 数学者, 哲学者, (電子)工学者らが緊密に連繋して新しい時代にふさわしい「言語科学」の体系化と新理論の展開を試みている。今や言語学者には伝統的言語学固有の知識に加えて数学, 哲学, 論理学, 工学などの基礎知識が絶対に必要であると申しても過言ではない。

今世紀の中葉以降, 彗星の如くに現われて, その「変形生成文法」(Transformational-Generative Grammar) の体系によって一躍言語学界の寵児となった M.I.T. の N. Chomsky 教授も彼の今日の成功の多くを, 以上の隣接科学に対する深い造詣に負っていることは言うまでもないが, 多方面の学問に通暁する天才チャムスキーが, その野心と才智と努力を結集して近い将来一層完璧な言語科学理論を樹立するであろう。

小論では G. Peano の数学的帰納法 (Mathematical Induction) の基本的理念を中心に言語構造の一特性を探り, 次いでこの特性を日英両語構文の比較研究に応用してみたいと思う。

2. 無限帰納的構造の文法性 原始社会においても物を数えるということは人間行動の基本の一つであったが, 数学者はこの素朴な着想から先ず自然数 $\mathbf{N}$ を得て, 物の個数や順序を表わすに用いた。次いで自然数 $\mathbf{N}$ から順次に「数」の概念を拡張して, 整数 $\mathbf{Z}$, 有理数 $\mathbf{Q}$, 実数 $\mathbf{R}$, 複素数 $\mathbf{C}$ へと発展せしめて, 四則算法はもとより連続性の問題や数係数の代数方程式の根の問題の解

5) Sivertsen (ed.), *Proceedings of the Eighth International Congress of Linguistics*; H. Lunt (ed.), *Proceedings of the Ninth International Congress of Linguistics*; T.B. Steel, Jr. (ed.), *Formal Language Description Languages for Computer Programming*; American Mathematical Society, *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, Vol. XII, Structure of Language and Its Mathematical Aspects, etc.

決に至るまで飛躍的な理論的發展と自由とを得た。而して G. Peano (1858—1932) は、1 という自然数および任意の自然数 x に対して $x+1$ (これを「後者」(Successor) と呼び x' であらわす) を対応させる関数を基礎にして自然数全体の集合 N の基本的性質を、「**Peano の公理系**」と呼ばれる次の五つの公理にまとめた。

- 1) $1 \in N$,
- 2) $x \in N$ ならば $x' \in N$,
- 3) $x \in N$ ならば $x' \neq 1$,
- 4) $x' = y$ ($x, y \in N$) ならば $x = y$,
- 5) 2条件 ' $1 \in M$ ' および ' $x \in M$ ならば $x' \in M$ ' がみたされれば $N \subset M$

これが Peano の公理系と呼ばれるもので、これをみたす集合 N は同形の意味で一つしかないので、これをもって N の定義と考えることができ、その立場で N の元を自然数と名づける。而してこの Peano の第 5 公理によれば、自然数 n についての性質 $P(n)$ に対して、i) $P(1)$ は正しく、かつ ii) 任意の自然数 k について $P(k)$ が正しいと仮定したときに $P(k+1)$ も正しい、という二つが証明されるならば、すべての自然数 n について $P(n)$ が正しいことが導かれる。このような推論が数学的帰納法 (Mathematical Induction) または完全帰納法 (Complete Induction) であり、あわせて Peano の第 5 公理が数学的帰納法の公理と呼称される。この数学的帰納法を拡張して二重数学的帰納法 (または二重帰納法 (Double Mathematical Induction)), さらに拡張して多重数学的帰納法 (または多重帰納法 (Multiple Mathematical Induction)) と呼ばれるものがある。すなわち、すべての自然数 m, n に関する性質 $P(m, n)$ が一般に正しいことを証明するのに、i) $P(m, 1)$ および $P(1, n)$ はすべての m, n について正しく、かつ ii) 任意の自然数 k, l について $P(k+1, l)$ および $P(k, l+1)$ が正しければ、 $P(k+1, l+1)$ も正しい、の二つを証明が考えられ、等々である。

この Peano の公理系という数学的帰納法における「後者」($n' = n+1$) の概

念は、実はきわめて重要な基本的着想であって、自然数 N の基本的性質から出発して自由奔放な数学者の形式的拡張の精神から、形式科学たる数学の各分野において広汎かつ基本的な概念として活用されている。例えば、一般の(有限・無限) 集合 M の任意の元 (Element) x がある一定の条件 P をみたとす、すなわち $M = \{x | Px\}$, ならば、 M のすべての元が同一の条件をみたすとする如きものである(定線分 l 上の任意の元 P , 定円 O の任意の半径 R , 直径 D など)。自然数 N が無限集合であるとする論拠は、その如何なる任意の元 n に対してもかならず後者 $n+1$ が存在するという考えに基づくものであるが、全く同様に自然語、たとえば英語、の文章が無限集合である論拠として、如何なる話者もしくは筆者も、これまでに話されもしくは書かれた任意の文章の数 n に更に新しい文章 ($n+1$) が加えられるという考えがあれば十分である。又、英語の N , V , A などの統語範疇についても同様の考え方が適用されうことは言を俟たない。

今、この数学的帰納法の基礎理論に基づいて Chomsky ("On Certain Formal Properties of Grammar," *Information and Control*, '59 ; "On the Notion 'Rule of Grammar'," (Proceedings of Symposia in Applied Mathematics, Vol. xll, *Structure of Language and Its Mathematical Aspects*, '61 ; *Aspects of the Theory of Syntax*, '65), V. H. Yngve ("The Depth Hypothesis," *Structure of Language and Its Mathematical Aspects*, '61), E. Bach (*An Introduction to Transformational Grammars*, '64) らの所説に数学的帰納法の見地から批判検討を加えたいと思う。この数学的帰納法は、"idealized writers and readers" ——純粹に形式的な論理的推論に徹した知的普遍語使用者——を対象とするもので、現実のある自然語の言語活動の場における言語運用面での "memory limitations, intonational and stylistic factors, 'iconic' elements of discourse"¹⁾ などのマイナス要因を一切捨象した意味での

1) Chomsky, *Aspects*, 1, §2; Yngve, "The Depth Hypothesis"

「普遍的文法性」(“Universal grammaticality”)のみを念頭においているものと理解していただきたい。これが E. Borel の “mathematics, the ideal use of language” の真ずいであって、先ず少数の基本的構造を「言語上の公理」(Linguistic Axioms)として認め、これにその妥当性が認められた一定数の規則を「繰返し」(recursively)適用しようとするものである。而して叙上の基本的構造としては、構造主義言語学者や変形生成文法家たちのたてた諸構造——“Actor-Action,” “Action-Goal,” “Modifier-Head,” SV (C)——NV, NVN, ‘NVNN, VN, VNN——を借りてこれらを「公理」として認め、逐次同一の(もしくは一定の)ルールを適用(n から $n'=n+1$, n' から $n''=n'+1$, というふう)に)して行くわけである。この “Infinitely Recursive Structure” には「等位」(Paratactical), 「従位」(Hypotactical) の 2 種が認められる。

(I) 等位無限帰納的構造 (Infinitely Recursive Paratactical Structure):

a) “Character-Substance” 構造。2 個の集合 $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$, $N = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_n\}$ のおのおのの元 (Element) の順列, (a_1, n_1) , (a_2, n_2) , $(a_3, n_3), \dots, (a_m, n_n)$ は 1 個のマトリックスをなし、これを構成する mn 個の元 (= 成分, 要素) P_{ik} ($i=1, 2, 3, \dots, m$; $k=1, 2, 3, \dots, n$) は次のような配置をなす。

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & p_{m3} & \dots & p_{mn} \end{pmatrix}$$

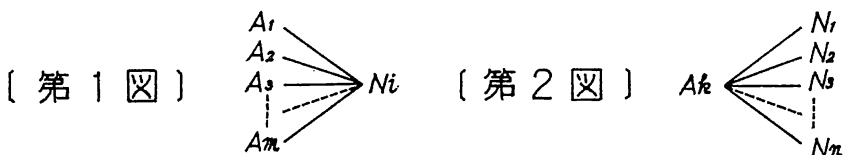
ここで第一の列 (Column) $p_{11}, p_{21}, \dots, p_{m1}$ をとり、その各要素たとえば, $\{(a) \text{good boy}\}$, $\{(an) \text{honest boy}\}$, $\{(a) \text{diligent boy}\}, \dots, \{(a) \text{happy boy}\}$ をおのおの (a_i, n_k) という 2 個の元をもつ順序集合とみなして、これらの集合の「合併〔和〕集合」(Union)を求めると $\{(a) \text{good, honest, diligent}, \dots, (and) \text{happy boy}\}$ という集合、つまり「深度 1」(*Depth of one*)₂ の最も簡

2) Yngve, “The Depth Hypothesis”

単な等位無限帰納的構造が得られる。次に上記マトリックスの第1の行(Row) $p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1n}$ をとり, その各要素たとえば $\{(a) \text{ good boy}\}, \{(a) \text{ good girl}\}, \{(a) \text{ good student}\}, \dots, \{(a) \text{ good farmer}\}$ をおのおの (a_i, n_k) という2個の元をもつ順序集合とみなして, これらの合併集合を求めると $\{\text{good boy, girl, student} \dots (\text{and}) \text{ farmer}\}$ という矢張り深度1で容認性の高い別の等位無限帰納的構造が得られる。これらの構造が Chomsky (*Aspects*, 1, §2) の “multiple-branching construction” の1種であって, 括弧区分では $[[A_1][A_2][A_3] \dots [A_m]], [[N_1][N_2][N_3] \dots [N_n]]$, 分岐構造では

〔第1図〕

〔第2図〕



である。

以上は $A_i N_k$ マトリックスの第1行, 第1列のみを用いた最も簡単な無限帰納的構造のパターンであるが, これらのマトリックスの2行, 2列もしくはそれ以上の数の行列 (最高は n 行, m 列) を用いた集合族としての複雑な無限帰納

- 3) Chomsky は, これらの構造を純粹の “Multiple-branching Constructions” と考えているが, これらは “multiple-branching” であると同様に, 〔第1図〕では左側に, 〔第2図〕では右側に, 無限に拡大される, いわば別の意味での “Left-branching [or Right-branching] Constructions” とも考えられる。只従位の左〔右〕分枝構造が枝から枝へと順序わかれていくのに反して, 同一の幹から一定方向に——左側もしくは右側に——無限数の枝が分岐している点が異なるといえよう。

なお Chomsky は別の箇所 “On the Notion ‘Rule of Grammar’” において, 〔第1図〕は CF Constituent Structure Grammar における nonterminal symbol A のタイプのうち, $A \Rightarrow A\varphi$ の例として “Left-recursive” と呼び, 〔第2図〕は同じく $A \Rightarrow \varphi A$ (φ は non-null) の例として “Right-recursive” と呼んでいる。

的構造も当然生成されるわけである。({good, honest, diligent,……(and) happy boy, girl, student, …… (and) farmer}) が、この構造は深度 1 でありながら ambiguity が高く acceptability は減ずるであろう。

b) “Action-Goal” 構造。 a) の場合と同じく、先ず 2 個の集合 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_m\}$, $N = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_n\}$ のおのおのの元の順列, $(v_1, n_1), (v_2, n_2), (v_3, n_3), \dots, (v_m, n_n)$ よりなるマトリックスの mn 個の成分 q_{ik} が

$$\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & \dots & q_{mn} \end{bmatrix}$$

という配置をなし、次に第 1 列 $q_{11}, q_{12}, \dots, q_{m1}$, および第 1 行 $q_{11}, q_{21}, \dots, q_{m1}$ の各要素全体の集合の合併集合を求めて、それぞれ例えば

{have (an) apple, (a) pear, (a) banana,…… (and) (an) orange}, および
{have, like, taste,……(and) sell (an) apple}

のような簡単な等位無限帰納的構造が得られ、それらを更に形式的に拡大すれば

{have, like, taste,……(and) sell (an) apple, (a) pear, (a) banana,…… (and) (an) orange} が得られるであろう。

c) “Action-Manner” 構造。これも上記 a), b) の場合と全く同じ手法によって、例えば {speak actively}, {walk actively}, {sing actively},…… {laugh actively} の合併集合 {speak, walk, sing,…… (and) laugh actively} が得られ、一方 {speak actively}, {speak carefully}, {speak frankly},…… {speak merrily} の合併集合 {speak actively, carefully, frankly,……(and) merrily} が得られ、更に複雑な構造が拡大生成できるのである。

d) 以上等位構造は、この他に伝統文法にいう “Copula” + “Predicative (Substantive, or Adjective)” はもとより、生成文法家の基本文型—— NV, NVN, NVNN, VN, VNN——のすべてに広汎に適用されて、最も基本的なも

のから極めて複雑なものまで多種多様の等位無限帰納的構造を生み出すであろうことは論を俟たないが、紙面の都合で割愛したい。

(Ⅱ) 従位無限帰納的構造 (Infinitely Recursive Hypotactical Structure):

(Ⅰ) の等位構造の場合と同じく、Peano の公理系に基づく数学的帰納法の着想は従位構造にも広く適用せられる。等位構造は Chomsky の “multiple-branching construction” であると同時に “left-branching [left-recursive] construction” もしくは “right-branching [right-recursive] construction” であることは明白である (例えば, {(a) good, honest, diligent……(and) happy boy}, {have, like, taste,……(and) sell (an) apple} は “left-branching” で, {good boy, girl, student,…… farmer}, {(a) boy, good, honest, diligent,…… (and) happy}, {have (an) apple, (a) pear, (a) banana,…… (and) (an) orange} は “right-branching” とみなされる) ところから, Chomsky の「多分枝構文」および「左右分枝構文」の弁別は往々にて困難と考えられる。

従位構造においては更に “nested constructions”, および “self-embedding constructions” が混同して複雑な無限帰納的構造が理論上生成され、とくに「繰込み」「自己埋込み」は容認可能性を著しく減少させるが, “idealized writers and readers” にとってはほぼ同程度の「文法性」を維持するとみられる。いま従位構造を便宜上 (a) 左分枝構造⁴⁾ (b) 右分枝構造⁵⁾ (c) 繰込み, 自己埋込み構造に分けて, それぞれ少数の例をあげて無限帰納的構造の生成過程を説明したい。

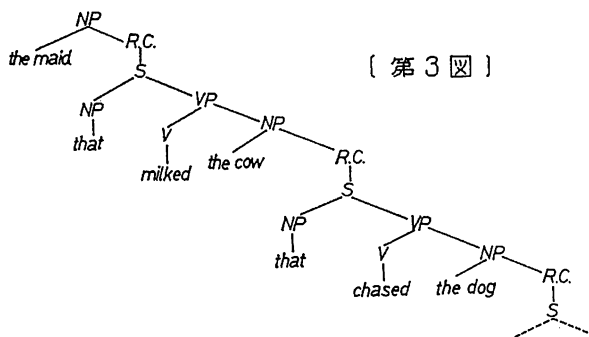
(a) 左分枝構造。 Chomsky のあげた [“[[[John’s] brother’s] father’s] uncle] がそれであるが, この最左端の項目 John’s の更に左側に数学的帰納法

4) 5) “Left-branching [-recursive]”, “Right-branching [-recursive]” の名称は, インド・ヨーロッパ諸語の如く, 書記法の順序が左→右である場合は妥当であるが, 日本語や中国語の如くそれが上→下である場合には不適当である。その点, Yngve のように, “Retrogressive structure” (後退的構造), “Progressive structure” (前進的構造) という呼称の方が妥当であろう。

の考えから後者(実は Yngve の “Retrogressive Structure” では正書法の順序からして前者 (Predecessor) であろうが, n 個の項目に新しく附加する項目 $n'=n+1$ という点は同一であるので依然後者である) を逐次加えることは理論上差支えない。

なお, Chomsky が同じ個所であげた例, [[[the man who you met] from Boston] who was on the train] は, むしろ $[N [A_1, A_2, A_3]]$ の型の等位(右分枝)構造と解すべきではないかと思われる。([the man [who you met] [(who was) from Boston] [who was on the train]])。

(b) 右分枝構造。 この代表的な構造としては, $S_1 = (N_1 V_1 N_2)$, $S_2 = (N_2 V_2 N_3)$, $S_3 = (N_3 V_3 N_4)$, …… $S_{n-1} = (N_{n-1} V_{n-1} N_n)$, $S_n = (N_n V_n N_{n+1})$ というおのおの3個の元をもつ順序集合 (Ordered Set) の無限集合であって, 一般に S_i の最後の元 N_i が S_{i+1} の最初の元 N_{i+1} と同一の項目である (英語の関係代名詞 ‘that’ が N_{i+1} に用いられ直前の先行詞 N_i と identity の関係にあることを示すなど, 従って, この構造が無限帰納的構造であるための条件は先行詞が目的格, 関係代名詞が主格であることである) ような構造である。一例をあげると, [the maid [that milked the cow that chased the dog [that teased the cat [that caught the rat [that stole the cheese [that……]]]]……] の如きもので容認性は新しい S_{i+1} を加えても減じないものと思われる。分枝図を用いて表わせば, 次のようになるであろう。



しかして上例の the cheese の次に更に (that pleased the maid) という順序集合が加わると一種の「循環節〔周期〕」(Period)を構成し、これらが又無限に繰り返される理論的可能性がある。

佐藤恭一氏⁶⁾ は「便利な that」というみだしで次のような米国の小学校理科教科書の一節をあげておられるので引用させていただく。

This is the family that ate the plants that grew from the seeds that were put in the soil that was improved by the fertilizer that was made by the cows that lived on the farm that Father owned.

右分枝構造の別の型の例として次のものをあげておく。

John is standing [near the table [near the cart [near the mailloxx [near the fence [near the tree [near the barn [near the road] ……]]]]]……].

I think [that John supposes [that Susie believes [that Mary hopes [that Tom denies [that Jone……]]]]]……].

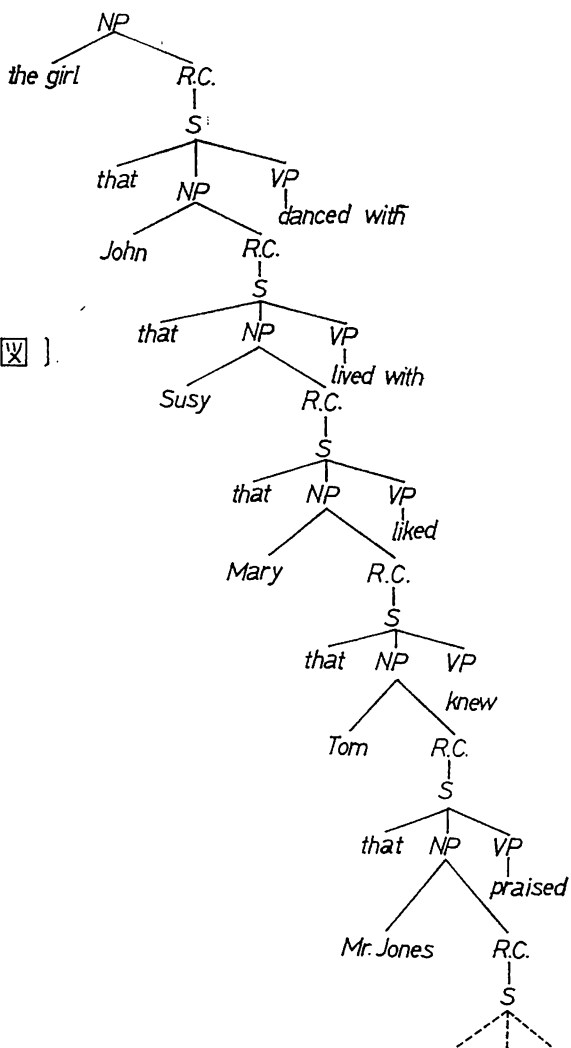
(c) 自己〔同型〕埋込み構造。これは例えば、(b)の $S_1 = (N_1 V_1 N_2)$, $S_2 = (N_2 V_2 N_3)$ ……の代りに $S_1 = (N_1 V_1 N_2)$, $S_2 = (N_1 V_2 N_3)$ …… $S_{n-1} = (N_{n-2} V_{n-1} N_n)$, $S_n = (N_{n-1} V_n N_{n+1})$ という、おのおの3個の元をもつ順序集合の無限集合の形式をとるもので、一般に S_i の最初の元 N_{i-1} が次の S_{i+1} の最初の元 N_{i-1} と内容上同一の項目である (英語の関係代名詞 ‘that’ が S_{i+1} の最初の N_{i-1} として用いられた直前の S_i の最初の N_{i-1} をその先行詞としてとるもので、この構造が無限帰納的構造を形成するためには、‘that’ が目的格、先行詞が主格であることが必要条件である)。一例を示そう。

[the girl [that John [that Susie [that Mary [that Tom [that Mr. Jones [that……[[[[……]]]]] praised] knew] liked] lived with] danced with]. (……ジョーンズ先生がほめていたトムの知っていたメアリーの好きなスージーが同居していたジョンが相手になって踊った少女。)

この種の無限帰納的構造は、上掲のすべての等位・従位無限構造に比して、

6) 英語青年」CXIII, vi., p. 48.

[第 4 圖].



Chomsky が自己埋込み構部の例としてあげた ‘who the boy [who the students recognized] pointed out’ は、この型の単純なものである。

更に数学的帰納法に基づく理論上の無限帰納的構造は、叙上の等位・従位各パターンの構造の複合操作によって一層複雑な構造を生成するであろうが、それらの具体的な例示および分枝構造図示は割愛する。

これらの諸構造の単純型・組合せ型の英語における実例（理論上でなく）やそれらの容認可能性、日本語におけるそれらとの比較の問題は、次節以下に譲りたい。

最後に Chomsky があげた “simplest formal structures in grammatical sentences” の第一の構文である “nested constructions” については、分離した例えばドイツ語の従節その他に用いられる Aux.V.～V.や分離動詞の中間に挿入される文要素が好個の例であろうと考えられるが、Chomsky 自身のあげた “I called [the man who wrote the book that you told me about] up” については、その grammaticalness が high あるとするのには多少の疑問の余地がある。

—未完—

