

言語情報と コンピュータ

人間の文法とコンピュータの文法とは何が違うのか

金沢 誠

人間の文法と コンピュータの文法



人間の言語

Gelukkig nieuwjaar!

Bonne année!

שנה טובה!



プログラミング言語

```
function factorial(n)
{
  if (n <= 1) {
    return 1;
  } else {
    return n * factorial(n-1);
  }
}

document.write("6! = " + factorial(6));
```

数理言語学

既成の数学を応用するのではなく、現実の現象
に対する数学モデルをつくり、そこから場合
によっては新しい数学の理論を構成してい
く…

現代数理科学事典（広中平祐編・大阪書籍・1991）序文より

形式文法

1930's

数理論理学

プログラミング
言語の設計

1950's

人間の言語の
形式的記述

形式文法



形式言語理論

コンピュータ科学基礎

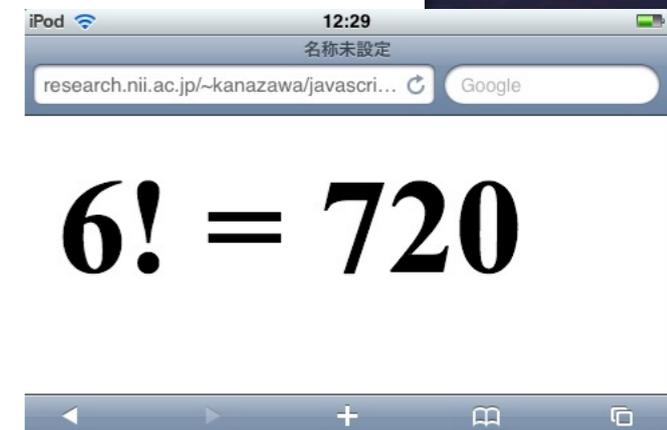
数理言語学



JavaScriptのプログラム

```
function factorial(n)
{
  if (n <= 1) {
    return 1;
  } else {
    return n * factorial(n-1);
  }
}
```

```
document.write("6! = " + factorial(6));
```



プログラムの入れ子構造

```
function factorial(n)
{
  if (n <= 1) {
    return 1;
  } else {
    return n * factorial(n-1);
  }
}
```

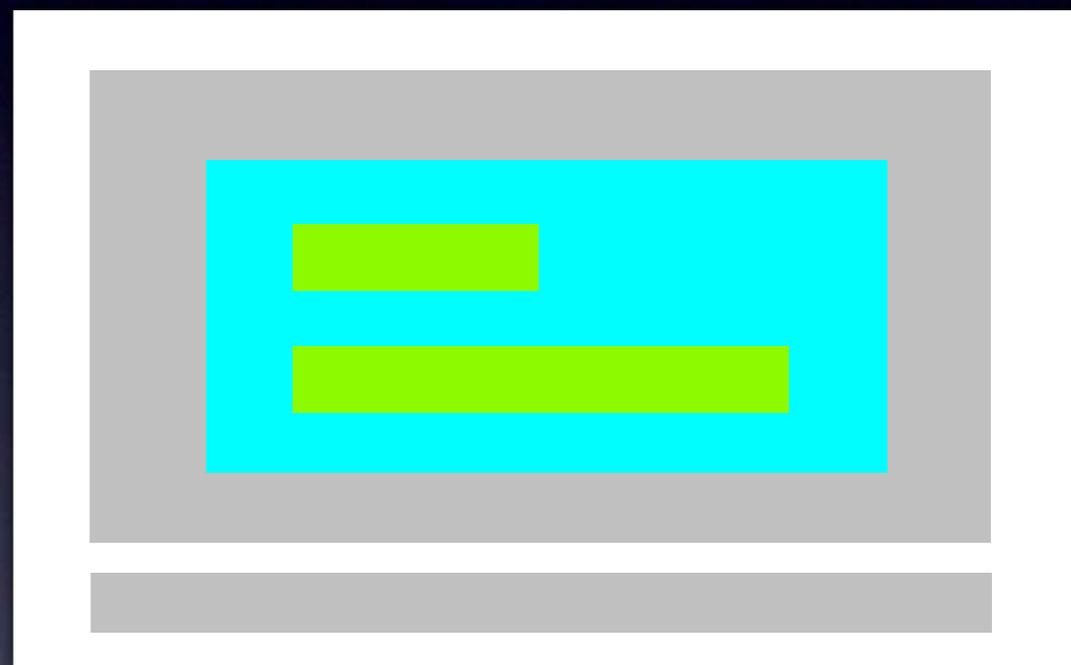
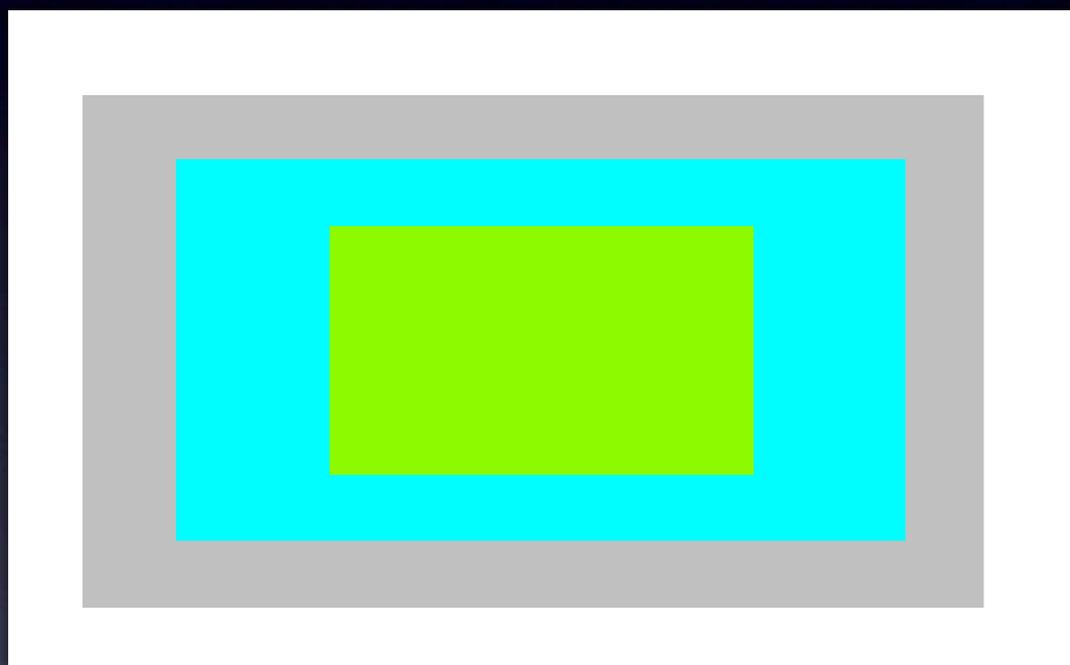
```
document.write("6! = " + factorial(6));
```

文 Statement

入れ子 Nesting



入れ子構造



構造化プログラミング



E. W. Dijkstra (1930–2002)

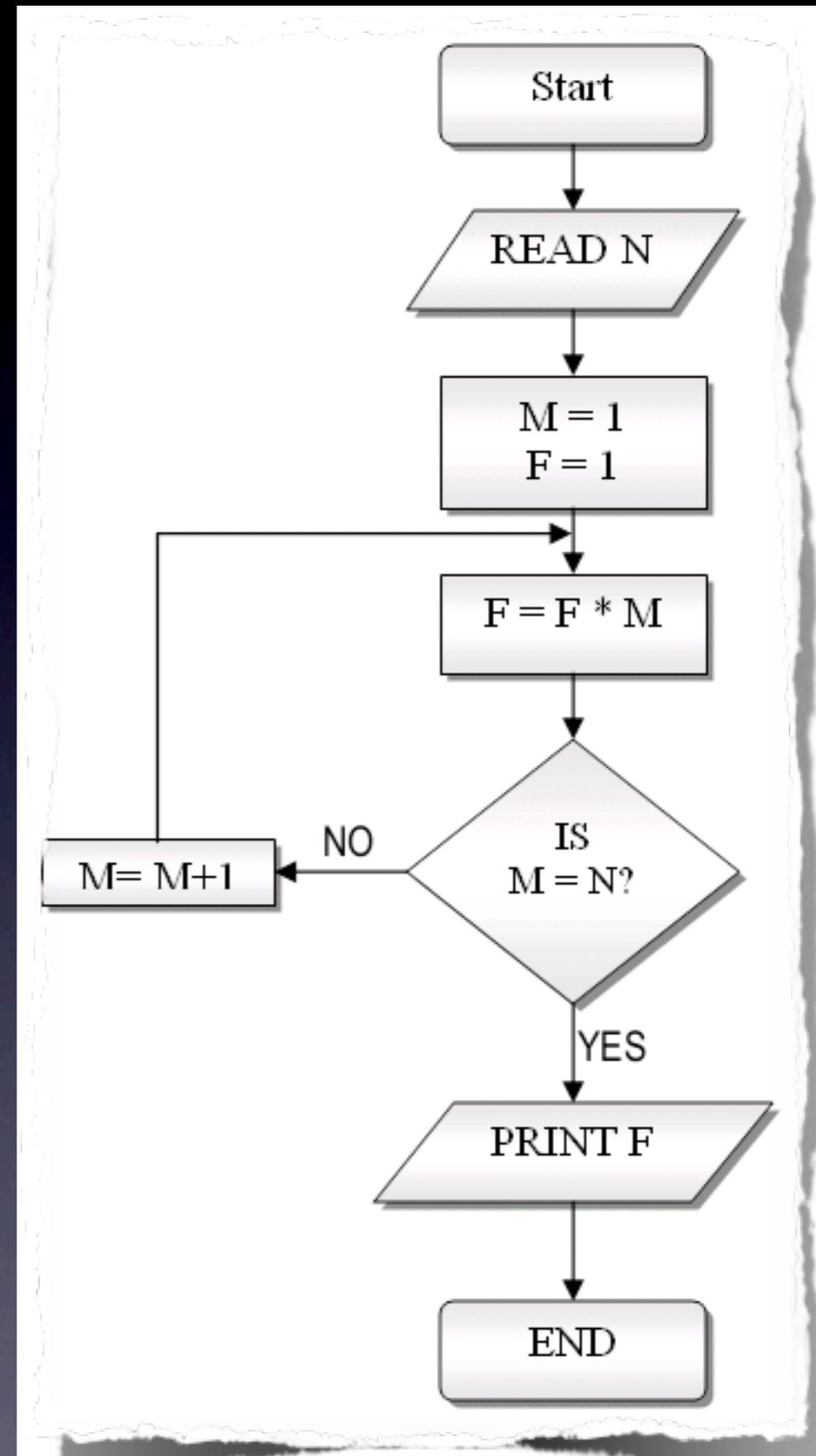
```
function factorial(n)
{
  if (n <= 1) {
    return 1;
  } else {
    return n * factorial(n-1);
  }
}
```

```
document.write("6! = " + factorial(6));
```

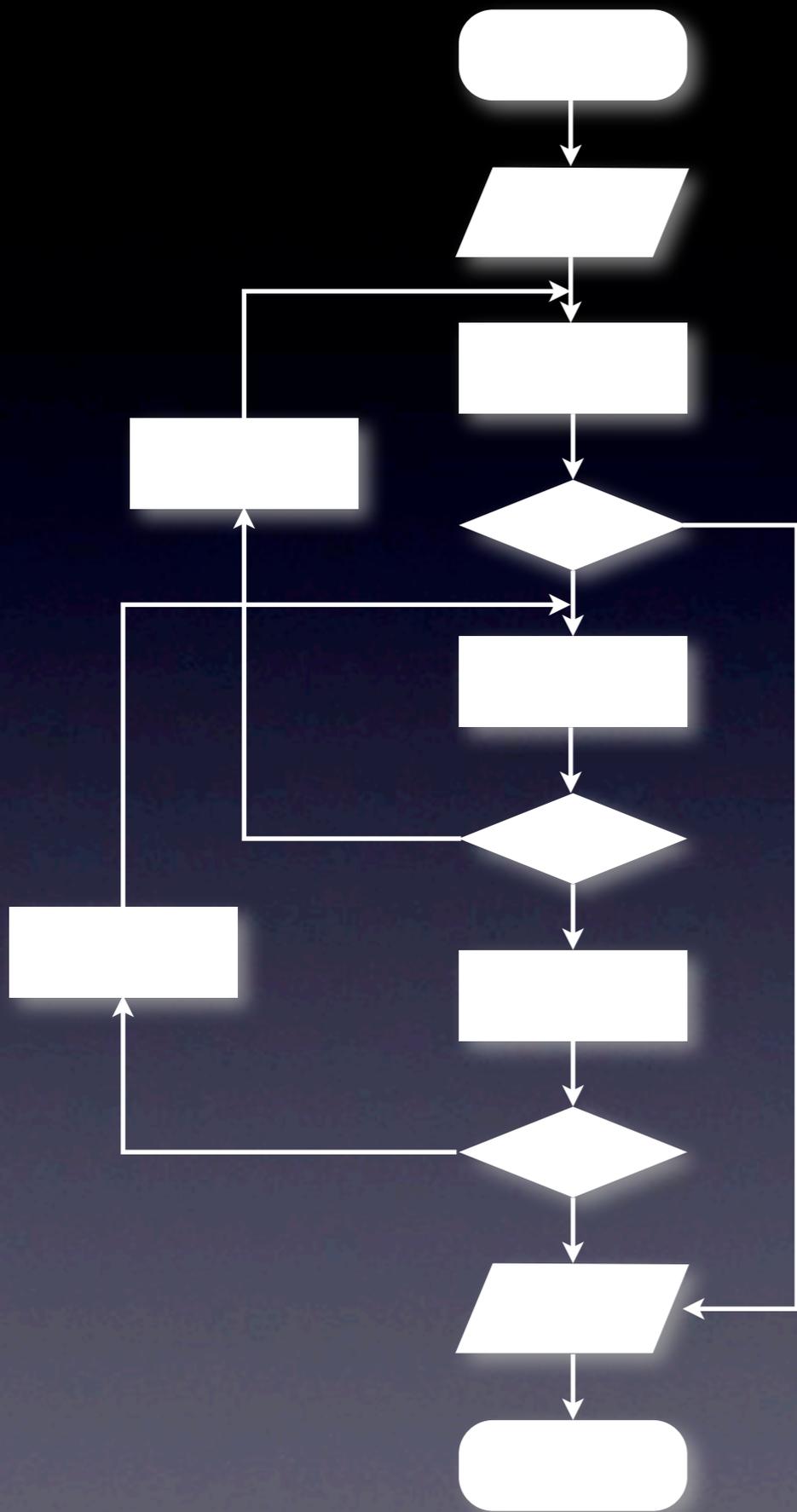


フローチャート

GOTO文を持つプログラム
機械語 / 低級言語



非構造化 プログラミング



入れ子構造とカッコ

```
function factorial(n)
```

```
{
```

```
  if (n <= 1) {
```

```
    return 1;
```

```
  } else {
```

```
    return n * factorial(n-1);
```

```
  }
```

```
}
```

```
document.write("6! = " + factorial(6));
```

入れ子構造とカッコ

```
function factorial(n)
```

```
{
```

```
  if (n <= 1) {
```

```
    return 1;
```

```
  } else {
```

```
    return n * factorial(n-1);
```

```
  }
```

```
}
```

```
document.write("6! = " + factorial(6));
```


いろいろなかっこ

{

}

(

)

[

]

begin

end

if

fi

if

endif

while

endwhile

if

then

if

else

数式 論理式

$$((1 + 2) \times 3) - (14 - (5 + 6))$$

$$\int_a^b \int_c^d f(x, y) dx dy$$

$$\forall x \forall y (x < y \rightarrow \exists z (x < z \wedge z < y))$$

マークアップ言語

HTML
XHTML

開始タグ

終了タグ

<html>

</html>

<h1>

</h1>

<p>

</p>

<div>

</div>

正しいかっごづけ

() ()

() { }

()) ()

({ })

((()))

({) }

((())))

({ } ())

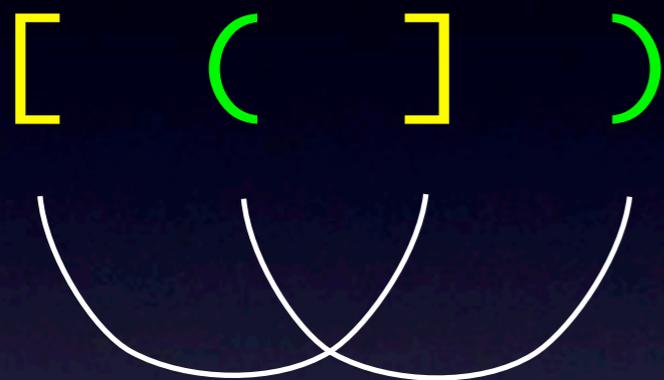
((())))

{ { () })

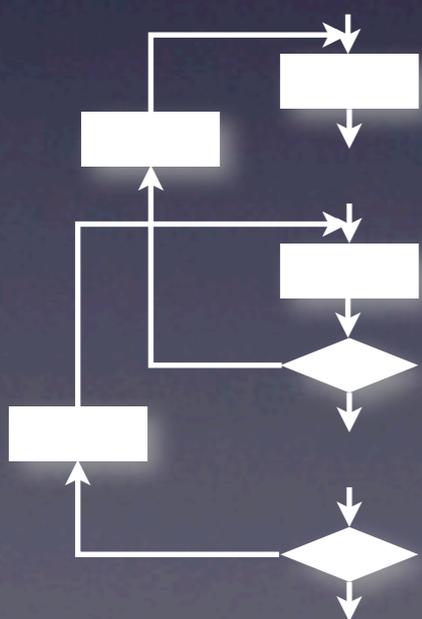
(() ()) ()

(() ()) ()

交差の禁止



$$\int_a^b \int_c^d f(x, y) dx dy$$



プログラミング言語

- 構文上のまとまり（文など）が入れ子構造をなす
- かっこが構文上のまとまりを明示的に表す
- かっこは入れ子状に配置される（かっこは交差しない）
- ペアをなすキーワードが1対のかっこのようにふるまう
- マークアップ言語、数学や論理学の人工言語も同様

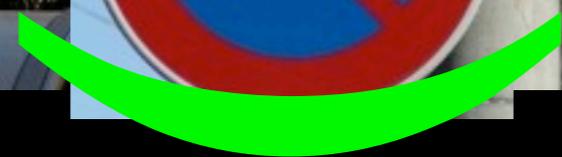
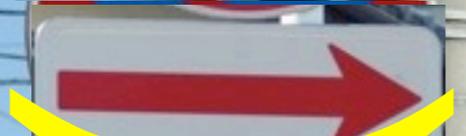
道路標識一覧

案内標識																	
(101) 市町村 温泉町 Onsen Town	(102-A) 都府県 静岡県 Shizuoka Pref.	(102-B) 都府県 東京都 Tokyo Met.	(102-B) 都府県 静岡県 Shizuoka Pref.	(103-A) 入口の方向 東名高速 TOMEI EXPWY	(103-B) 入口の方向 首都高速 SHUTO EXPWY 空港 新宿 Airport Shinjuku	(104) 入口の予告 名神高速 MEISHIN EXPWY 入口 150m	(105-A) 方面、方向及び距離 国分寺 4km Kokubunji	(105-B) 方面、方向及び距離 熱海 17km Atami 沼津 18km Numazu	(105-C) 方面、方向及び距離 鎌倉 13km Kamakura	(106-A) 方面及び距離 日本橋 10km Nihonbashi 日比谷 7km Hibiya	(106-B) 方面及び距離 横浜 11km Yokohama 厚木 26km Atsugi 静岡 153km Shizuoka	(106-C) 方面及び距離 銀座 10km Ginza 本町 12km Honcho 新宿 23km Shinjuku	(107-A) 方面及び車線 大阪 Osaka	(107-B) 方面及び車線 本線 THRU TRAFFIC	(108-A) 方面及び方向の予告 日本橋 Nihonbashi 上馬 300m Kamiuma 大森 Omori		
(108-B) 方面及び方向の予告 上馬 日本橋 大森 Kamiuma Nihonbashi Omori 300m	(108-2-A) 方面及び方向 日本橋 上馬 大森 Nihonbashi Kamiuma Omori	(108-2-B) 方面及び方向 上馬 日本橋 大森 Kamiuma Nihonbashi Omori	(108-2-C) 方面及び方向 名古屋 Nagoya 大塚 Ogaki 300m	(108-2-D) 方面及び方向 本線 THRU TRAFFIC	(108-2-E) 方面及び方向 大阪 Osaka	(108-3) 方面、方向及び道路の通称名の予告 市ヶ谷 Schiyoga 池袋 Ikabukuro 渋谷 Shibuya 300m	(108-4) 方面、方向及び道路の通称名 市ヶ谷 Schiyoga 池袋 Ikabukuro 渋谷 Shibuya	<補足> 磐田 Iwata 天龍 Tenryu 東名 TOMEI 舞阪 Matsaka	大宮 Omiya 日本橋 Nihonbashi 崇鳴 Sugamo 300m								
(109) 出口の予告 4 横浜 2km Yokohama	(110-A) 方面及び出口の予告 16 横浜 町田 Yokohama Machida 4 出口 1km EXIT	(110-B) 方面及び出口の予告 西神田 Nishikanda 出口 400m EXIT	(111-A) 方面、車線及び出口の予告 京都 宇治 Kyoto Uji 5B 出口 1km EXIT	(111-B) 方面、車線及び出口の予告 江戸橋 Edobashi 出口 400m EXIT	(112-A) 方面及び出口 16 横浜 町田 Yokohama Machida 4 出口 EXIT	(112-B) 方面及び出口 501 西神田 Nishikanda 出口 EXIT	(113-A) 出口 4 横浜 Yokohama	(113-B) 出口 4 横浜 Yokohama	(114-A) 著名地点 錦力浦 Nishikigaura 東京駅 Tokyo Sta. 2Km	(114-B) 著名地点 日比谷公園 Hibiya Park 500m	(114-C) 著名地点 富士川 Fujigawa Riv.	(114-2-A) 主要地点 虎ノ門 Toranomon	(114-2-B) 主要地点 赤坂見附	(115) 料金徴収所 料金所1km TOLL GATE			
(116-A) サービス・エリアの予告 P 1km 富士川 Fujigawa	(116-B) サービス・エリアの予告 P 1km 中井 Nakai	(116-2-A) サービス・エリア P 300m 大黒 Daikoku	(116-2-B) サービス・エリア P 富士川 Fujigawa	(116-2) 非常電話 非常電話	(116-3) 待避所 待避所	(116-4) 非常駐車帯 非常駐車帯	(117-A) 駐車場 P	(117-B) 駐車場 P	(117-2-A) 登坂車線 登坂車線 SLOWER TRAFFIC	(117-2-B) 登坂車線 登坂車線 SLOWER TRAFFIC	(118-A) 国道番号 142 ROUTE	(118-B) 一般国道 142	(118-2-A) 都道府県道番号 142 神奈川	(118-2-B) 一般都道府県道 142			
(118-3-A) 総重量限度 緩和指定道路 20t 超	(118-3-B) 総重量限度 緩和指定道路 20t 超	(118-4-A) 高さ限度 緩和指定道路 3.8m 超	(118-4-B) 高さ限度 緩和指定道路 3.8m 超	(118-4-C) 高さ限度 緩和指定道路 3.8m 超	(118-4-D) 高さ限度 緩和指定道路 3.8m 超	(119-A) 道路の通称名 青山通り Aoyamadori	(119-B) 道路の通称名 青山通り Aoyamadori	(119-C) 道路の通称名 青山通り Aoyamadori	(119-D) 道路の通称名 渋谷線 3	(120-A) まわり道 まわり道 DETOUR	(120-B) まわり道 まわり道 DETOUR	(121-A) エレベーター エレベーター	(122-A) エスカレーター エスカレーター	(123-A) 横断歩道 横断歩道	(124-A) 乗合自動車停留所 乗合自動車停留所	(125-A) 路面電車停留所 路面電車停留所	(126-A) 便所 便所

警戒標識					規制標識										指示標識			補助標識																			
(201-A) +形道路 交差点あり	(201-B) T形(又は +形)道路交差点 あり	(201-C) T形道路 交差点あり	(201-D) Y形道路 交差点あり	(201) ロータリ あり	(301) 通行止め	(302) 車両通行止め	(303) 車両進入禁止	(304) 二輪の自動車以外 の自動車通行止め	(305) 大型貨物自動車等通行止め (305の2) 特定の最大積載量以上の 貨物自動車等通行止め	(306) 大型乗用 自動車通行止め	(307) 二輪の自動車・ 原動機付自転車通行 止め	(308) 自転車以外の 軽車両通行止め	(309) 自転車通行止め	(310) 車両(組合せ) 通行止め	(401) 並進可	(402) 軌道敷内 通行可	(403) 駐車可	(501) 距離・区域 この先100m ここから500m	(502) 日・時間 日曜・休日を除く 8-20	(503-A) 車両の種類 大貨	(503-B) 車両の種類 原付を除く	(503-C) 車両の種類 積3t	(504) 駐車余地 駐車余地6m	(505-A) 始まり ここから	(505-B) 始まり 区域 ここから	(505-C) 始まり 区域 ここまで	(505-D) 終り 区域 ここまで										
(202) 右(又は左) 方屈曲あり	(203) 右(又は左) 方屈折あり	(204) 右(又は左) 方背向屈曲あり	(205) 右(又は左) 方背向屈折あり	(206) 右(又は左) つづら折りあり	(310-2) 大型自動二輪車 及び普通自動二輪車 二人乗り通行禁止	(311-A) 指定方向外 通行禁止	(311-B) 指定方向外 通行禁止	(311-C) 指定方向外 通行禁止	(311-D) 指定方向外 通行禁止	(311-E) 指定方向外 通行禁止	(311-F) 指定方向外 通行禁止	(312) 車両横断禁止	(313) 転回禁止	(314) 追越しのための右側 部分はみ出し通行禁止 (314の2) 追越し禁止	(404) 停車可	(405) 優先道路	(406) 中央線	(506) 区域内	(507-A) 終り	(507-B) 終り	(507-C) 終り	(507-D) 終り	(508) 通学路	(509) 前方優先道路	(509の3) 横風注意	(509の5) 注意	(508の2) 追越し禁止	(509の2) 踏切注意	(509の4) 動物注意	(510) 注意事項 路肩弱し	(510の2) 規制理由 安全速度 30	(510の2) 規制理由 騒音防止区間 歩行者横断多し 対向車多し	(511) 方向	(512) 地名 小諸市 本町	(513) 始点 始点	(514) 終点 終点	
(207-A) 踏切あり	(207-B) 踏切あり	(208) 学校、幼稚園、 保育所等あり	(208の2) 信号機 あり	(209) すべりやすい	(315) 駐車禁止	(316) 駐車禁止 (317) 駐車余地	(318) 時間制限駐車 区間	(319) 危険物積載車両 通行止め	(320) 重量制限 5.5t	(321) 高さ制限 3.3m	(322) 最大幅 2.2m	(323) 最高速度 (323の2) 特定の種類の 車両の最高速度	(324) 最低速度 50	(324) 最低速度 30	(406の2) 停止線	(407-A) 横断歩道	(407-B) 横断歩道	(506の2) 区域内	(507-B) 終り	(507-C) 終り	(507-D) 終り	(508) 通学路	(509) 前方優先道路	(509の3) 横風注意	(509の5) 注意	(508の2) 追越し禁止	(509の2) 踏切注意	(509の4) 動物注意	(510) 注意事項 路肩弱し	(510の2) 規制理由 安全速度 30	(510の2) 規制理由 騒音防止区間 歩行者横断多し 対向車多し	(511) 方向	(512) 地名 小諸市 本町	(513) 始点 始点	(514) 終点 終点		
(209の2) 落石の おそれあり	(209の3) 路面凹凸 あり	(210) 合流交通あり	(211) 車線数減少	(212) 幅員減少	(325) 自転車専用	(325の2) 自転車専用	(325の3) 自転車及び 歩行者専用	(325の4) 歩行者専用	(326-A) 一方通行	(326-B) 一方通行	(327) 車両通行区分 軽車両 二輪	(327の2) 特定の種類の 車両の通行区分	(327の3) 牽引自動車 の高速自動車国道通行区分	(327の4) 専用通行帯	(327の5) 路線バス等 優先通行帯	(327の6) 牽引自動車 の自動車専用道路第一 通行帯通行指定区間	(327の7-A) 進行方向 別通行区分	(327の7-B) 進行方向 別通行区分	(327の7-C) 進行方向 別通行区分	(327の7-D) 進行方向 別通行区分	(327) 動物が飛び 出すおそれあり	(327の8) 原動機付自転車 車の右折方法(二段階)	(327の9) 原動機付自転車 車の右折方法(小回り)	(328) 管轄区間 (328の2) 管轄区間	(329) 徐行 (329の2) 前方優先道路	(330) 一時停止 (330の2) 前方優先道路・ 一時停止	(331) 歩行者通行止め	(332) 歩行者横断禁止	(409-A) 規制予告	(409-B) 規制予告 小田原	(510) 注意事項 路肩弱し	(510の2) 規制理由 安全速度 30	(510の2) 規制理由 騒音防止区間 歩行者横断多し 対向車多し	(511) 方向	(512) 地名 小諸市 本町	(513) 始点 始点	(514) 終点 終点







プログラミング言語

- カッコと入れ子構造を持った言語

人間の言語にかっこ？

{(){}()}(())!!

((()...))...



書き言葉のかっこ

()

「 」

『 』

話し言葉の『かっこ』

もし日本人が優勝すれば3大会連続となる

If we leave without telling Bunnie where we are going then she will ransack the apartment when she returns.

if

then

either

or

so

that

more

than

もし

～たら／れば

たとえ

～ても

決して

ない

めったに

ない

～しか

ない

あたかも

～のようだ

たとえばめったに高速に乗らなくてもETCカードは持っていたい

{ () }

たとえば高速に乗ることが多くてもめったにETCカードは使わない

{ } ()

✕ たとえめったに高速に乗ってもETCカードは
使わない

{ (})

Anyone who feels that **if so-many more** students who we haven't actually admitted are sitting in on the course **than** ones we have **that** the room had to be changed, **then** probably auditors will have to be excluded, is likely to agree that the curriculum needs revision.

{ ([]) }

入れ子構造

サザエが マスオが買って来た 材料で御馳走を作った

文／節 Sentence/Clause

入れ子構造

カツオが

サザエが マスオが買って来た 材料で作った 御馳走を
全部食べてしまった

文／節 Sentence/Clause

入れ子構造

サザエが

ワカメが **タラちゃんが泣き出した** とき目をさました
のに気づいた

文／節 Sentence/Clause

主語と動詞の依存関係

カツオが

サザエがマスオが 買って来た材料で作った御馳走を
全部食べてしまった

Anyone who feels that **if so-many more students** who **we haven't** actually admitted **are** sitting in on the course **than** ones we have **that** the room had to be changed, **then** probably auditors will have to be excluded, **is** likely to agree that the curriculum needs revision.

主語と動詞のペアも数えると6重の入れ子



英語における入れ子と交差

It is easy to play this sonata on this violin.

This sonata is easy to play _ on this violin.

This violin is easy to play this sonata on _ .

Which violin is this sonata easy to play _ on _ ?

✗ Which sonata is this violin easy to play _ on _ ?

人間の言語

- 構文上のまとまり（節、句）が入れ子構造をなす
- 純粹なかっこは（話し言葉には）ない
- 1対のかっこのように1対1に対応する単語のペアがある（『かっこ』的なペア）
- 動詞と主語、動詞と目的語などの文法的つながりのある表現が1対のかっこのようにふるまう

人間の言語

- 『かっこ』 と入れ子構造を持った言語

入れ子構造



文脈自由文法

文脈自由文法

- 言語学者ノーム・チョムスキーによって1950年代に定義された
- 言語学に以前からあった句構造の概念を形式化したもの



Noam Chomsky (1928–)

文脈自由文法

- プログラミング言語
ALGOLの文法の記述
のために考案された
BNF（バックス・ナウ
アー記法）と等価
- プログラミング言語の
文法の記述に標準的に
用いられる



John Warner Backus
(1924–2007)



Peter Naur
(1928–)

正しいかっこづけの判定

$$((1 + (2 - 5) \times 3) - (14 - 8)) - (5 + 6))$$



Dyck言語

“(”と“)”からなる文字列のうち、“(”と“)”が正しく対応しているものからなる集合

$$D_1 = \begin{array}{lll} () & ((())) & ()(()) \\ ((())) & (()()) & ()()() \\ ()() & (())(()) & \dots \end{array} \dots$$

Walther von Dyck (1856–1934): ドイツ人の数学者 (群論)

Dyck言語の要素の判定

(()) ((()) ())

- 隣接する“(”と“)”を消す
- これをくり返す
- すべての“(”と“)”を消すことができればOK

スクリーンをご覧ください

(()) (()) (())

Dyck言語の要素の判定

- 隣接する“(”と“)”を消す

$() \Rightarrow$

$$a a^{-1} = 1$$

↑ ↑
逆元 単位元

Dyck言語の要素の判定

- 隣接する“(”と“)”を消す

$$() \Rightarrow 1$$

$$(1) \Rightarrow 1$$

$$11 \Rightarrow 1$$

スクリーンをご覧ください

(()) (()) (())

Dyck言語の文法

$$() \Rightarrow 1$$

$$(1) \Rightarrow 1$$

$$11 \Rightarrow 1$$

1: 補助記号

文脈自由文法

$() \Rightarrow 1$	$S \rightarrow ()$
$(1) \Rightarrow 1$	$S \rightarrow (S)$
$1 1 \Rightarrow 1$	$S \rightarrow S S$

S: 非終端記号

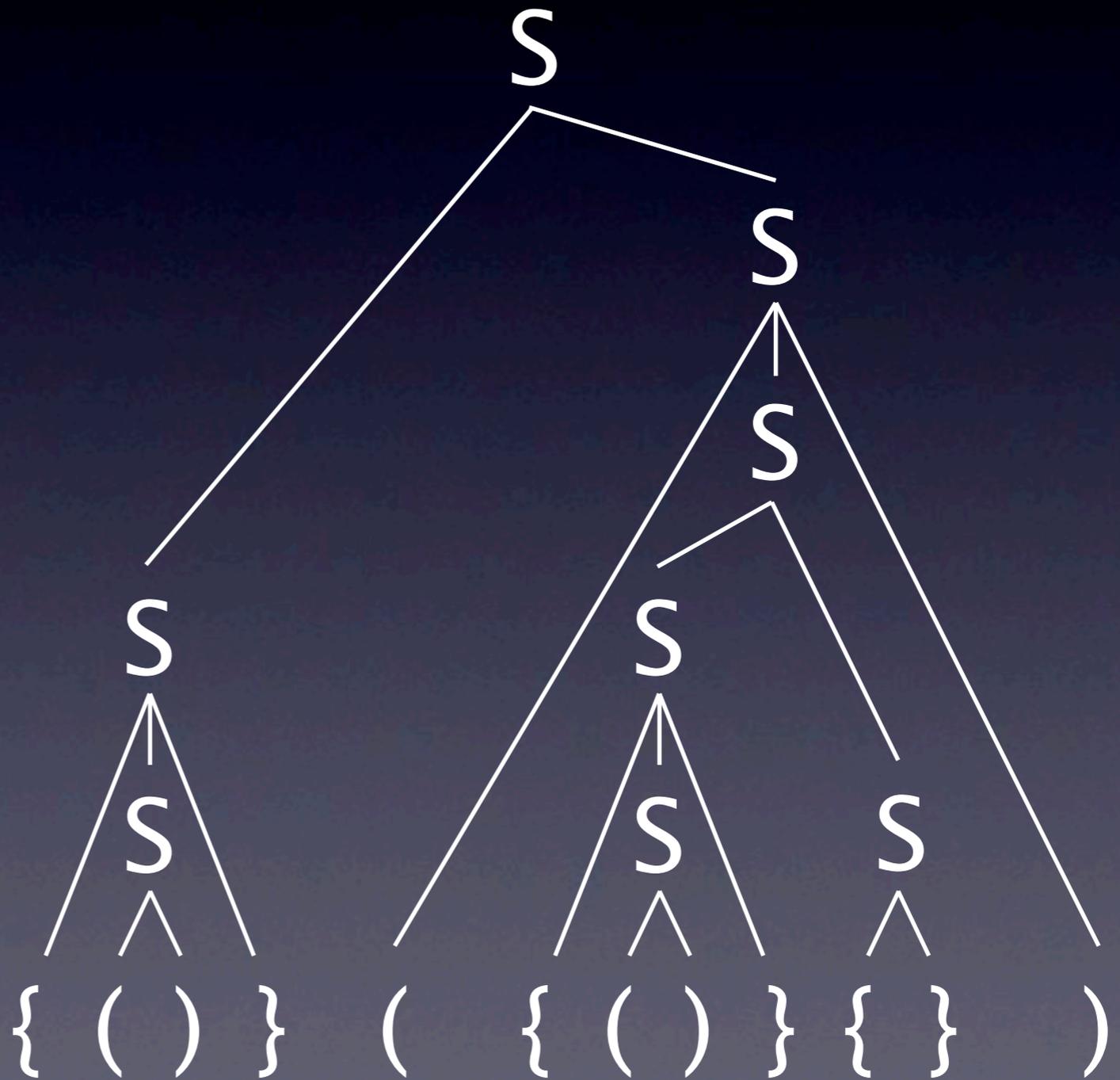
Dyck言語 D_2

$S \rightarrow ()$
 $S \rightarrow (S)$
 $S \rightarrow SS$
 $S \rightarrow \{\}$
 $S \rightarrow \{S\}$

$()$ $((()))$ $(((())))$ \dots
 $\{\}$ $()()$ $((())())$
 $()\{\}$ $((\{\}\{\}))$
 $(\{\})$ $(\{\{()\})$
 $\{()\}$ $(\{\{\}\})$

構文木

$S \rightarrow ()$
 $S \rightarrow (S)$
 $S \rightarrow SS$
 $S \rightarrow \{\}$
 $S \rightarrow \{S\}$



JavaScriptの文法

Program → *SourceElements*

SourceElements → *SourceElement*

SourceElements → *SourceElements SourceElement*

SourceElement → *Statement*

SourceElement → *FunctionDeclaration*

Statement → *IfStatement*

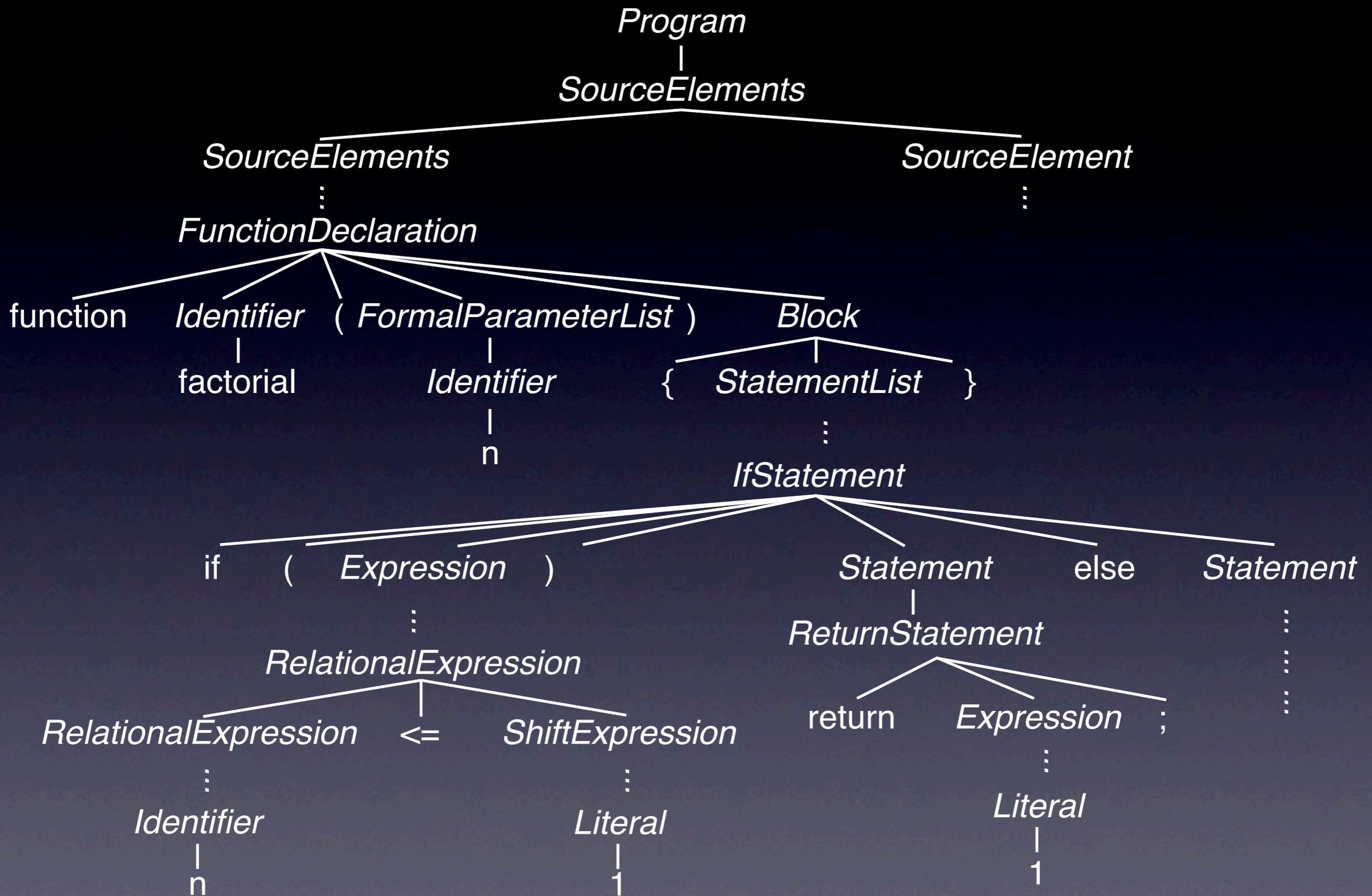
Statement → *ReturnStatement*

IfStatement → *if (Expression) Statement else Statement*

ReturnStatement → *return Expression ;*

Program, SourceElements, ... 非終端記号

if, else, return, (,), ; 終端記号



英語のミニチュアの文法

$S \rightarrow NP VP$

$VP \rightarrow V NP$

$NP \rightarrow Det N1$

$N1 \rightarrow N$

$N1 \rightarrow N1 CP$

$CP \rightarrow C VP$

$CP \rightarrow C S/NP$

$S/NP \rightarrow NP VP/NP$

$VP/NP \rightarrow V$

$Det \rightarrow the$

$N \rightarrow dog$

$N \rightarrow cat$

$N \rightarrow rat$

$N \rightarrow cheese$

$V \rightarrow saw$

$V \rightarrow chased$

$V \rightarrow ate$

$C \rightarrow that$

$S, NP, VP, V, Det, N1, N, CP, C, S/NP, VP/NP$ 非終端記号

$the, dog, cat, rat, cheese, saw, chased, ate, that$ 終端記号

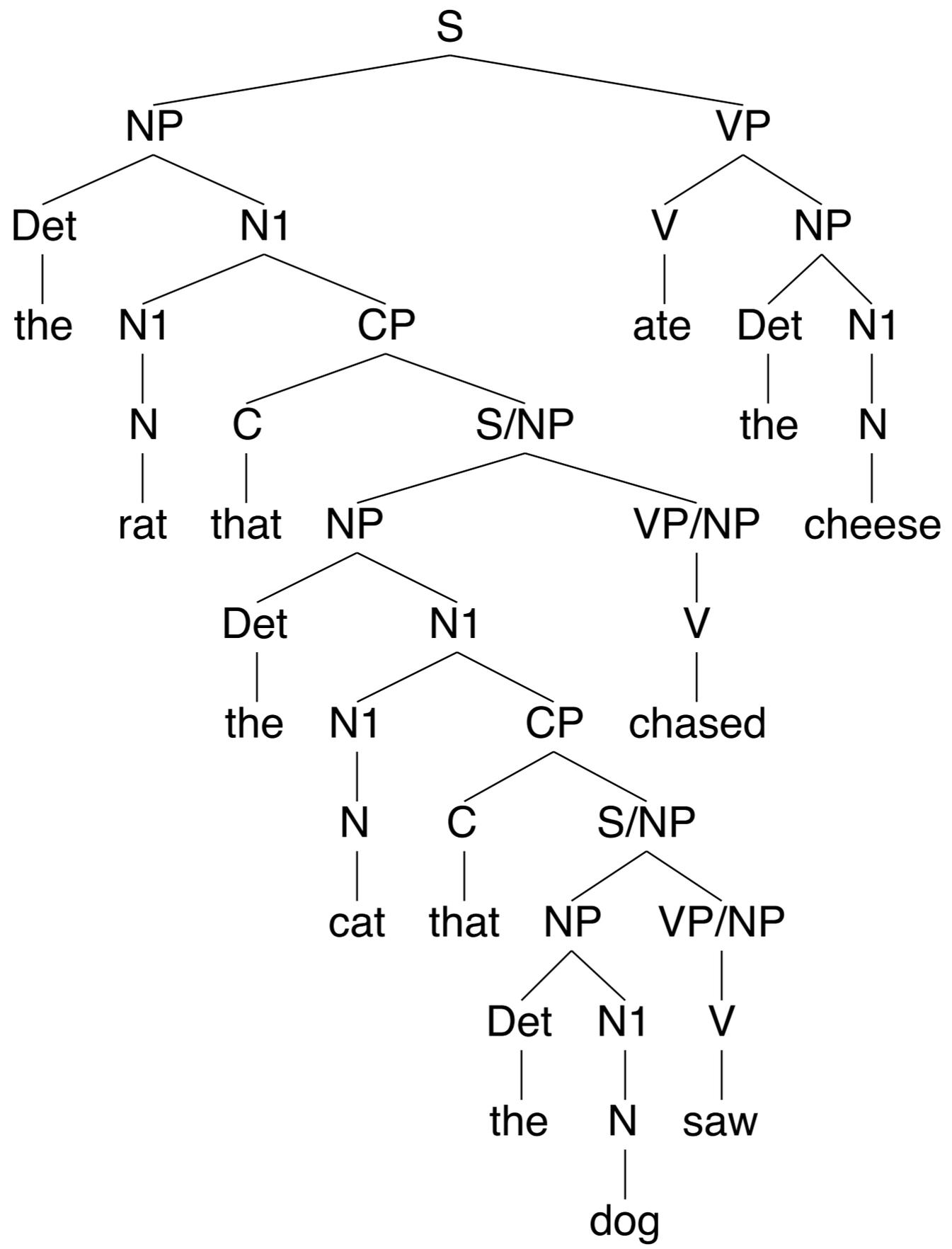
the rat ate the cheese

the cat chased the rat that ate the cheese

the dog saw the cat that chased the rat that ate
the cheese

the rat that the cat chased ate the cheese

the rat that the cat that the dog saw chased ate
the cheese

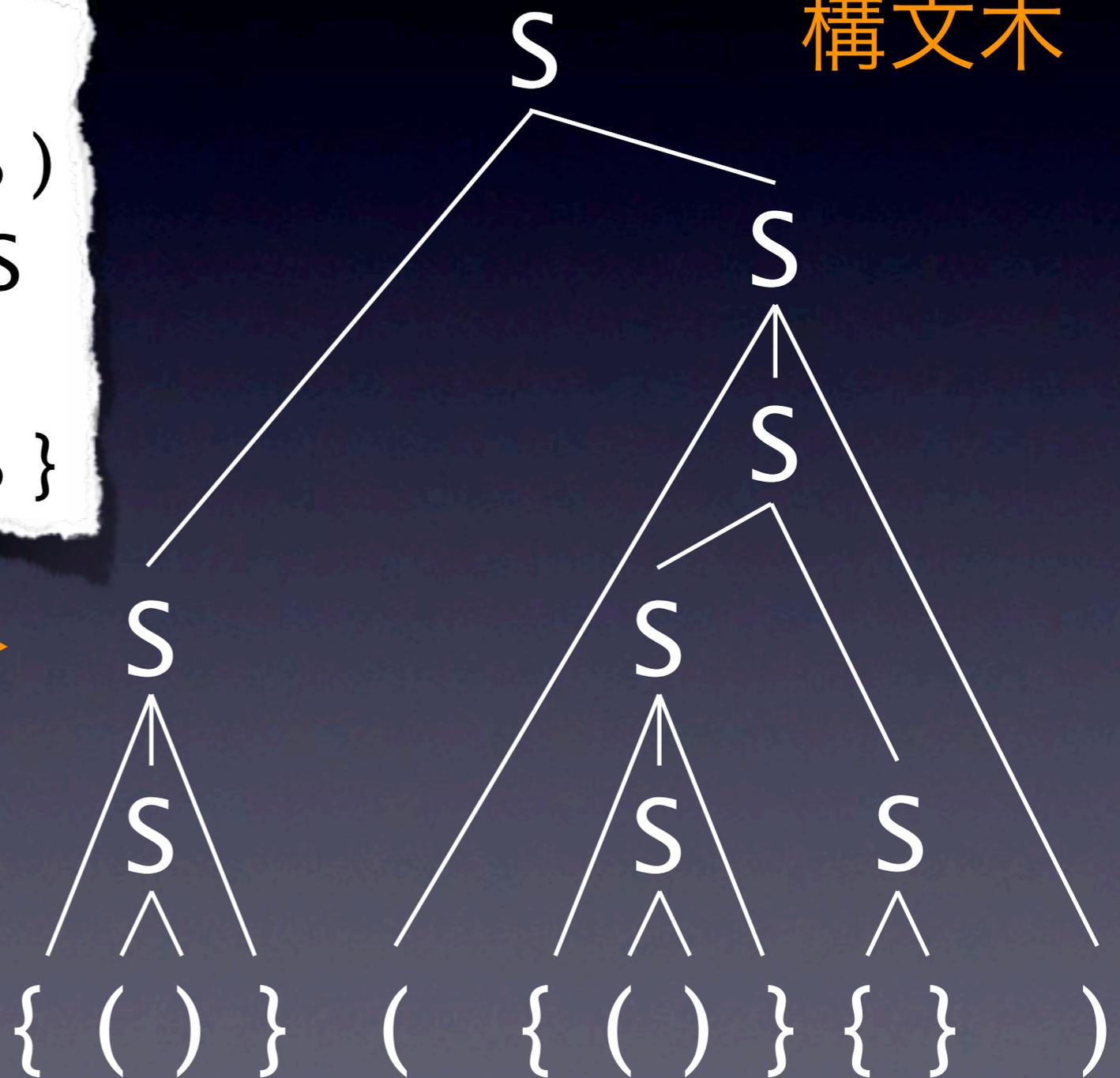


構文解析

$S \rightarrow ()$
 $S \rightarrow (S)$
 $S \rightarrow SS$
 $S \rightarrow \{\}$
 $S \rightarrow \{S\}$

構文木

$\{ () \} (\{ () \} \{ \})$

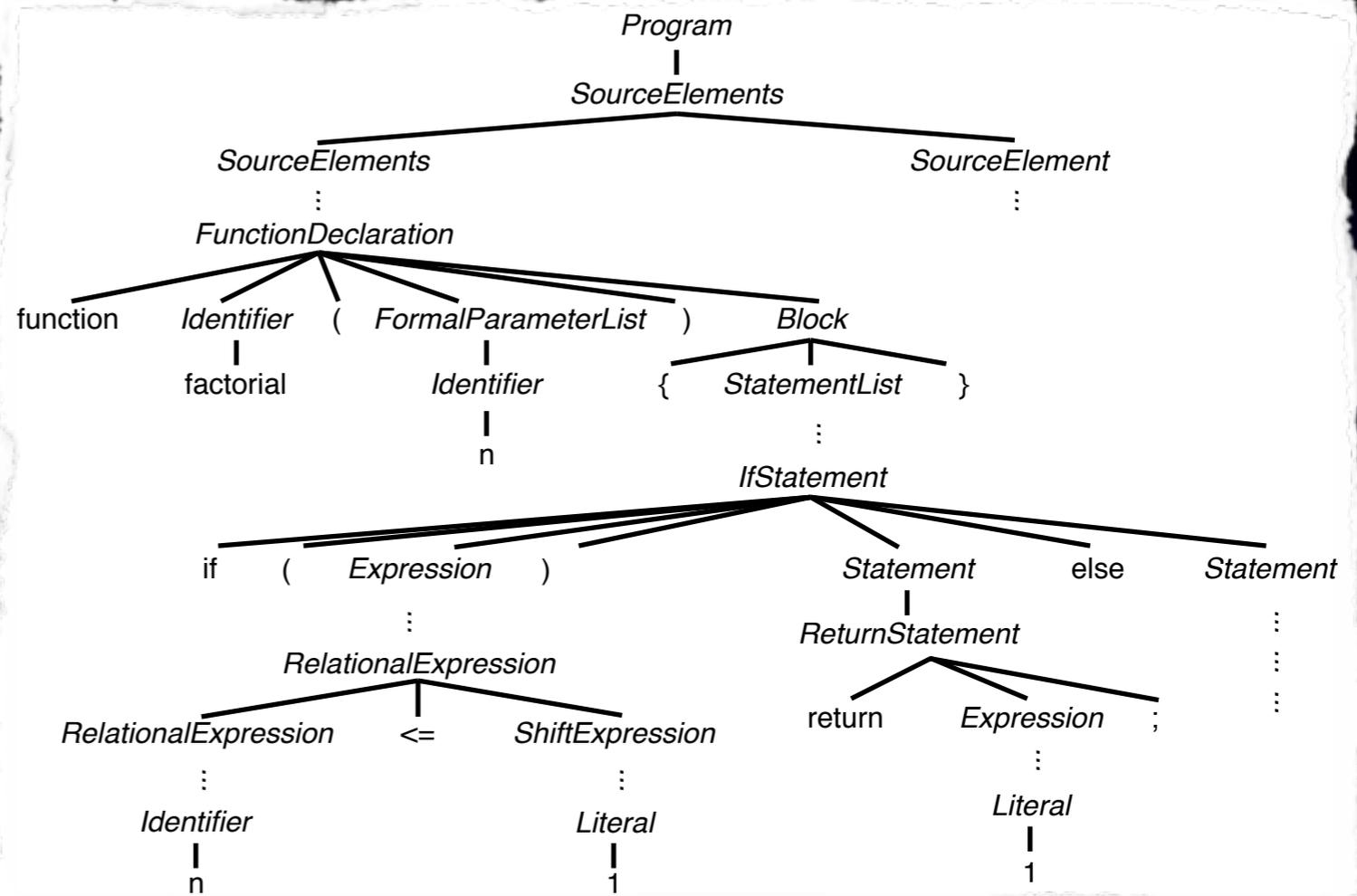


構文解析

```
function factorial(n)
{
  if (n <= 1) {
    return 1;
  } else {
    return n * factorial(n-1);
  }
}

document.write("6! = " + factorial(6));
```

入力：プログラム



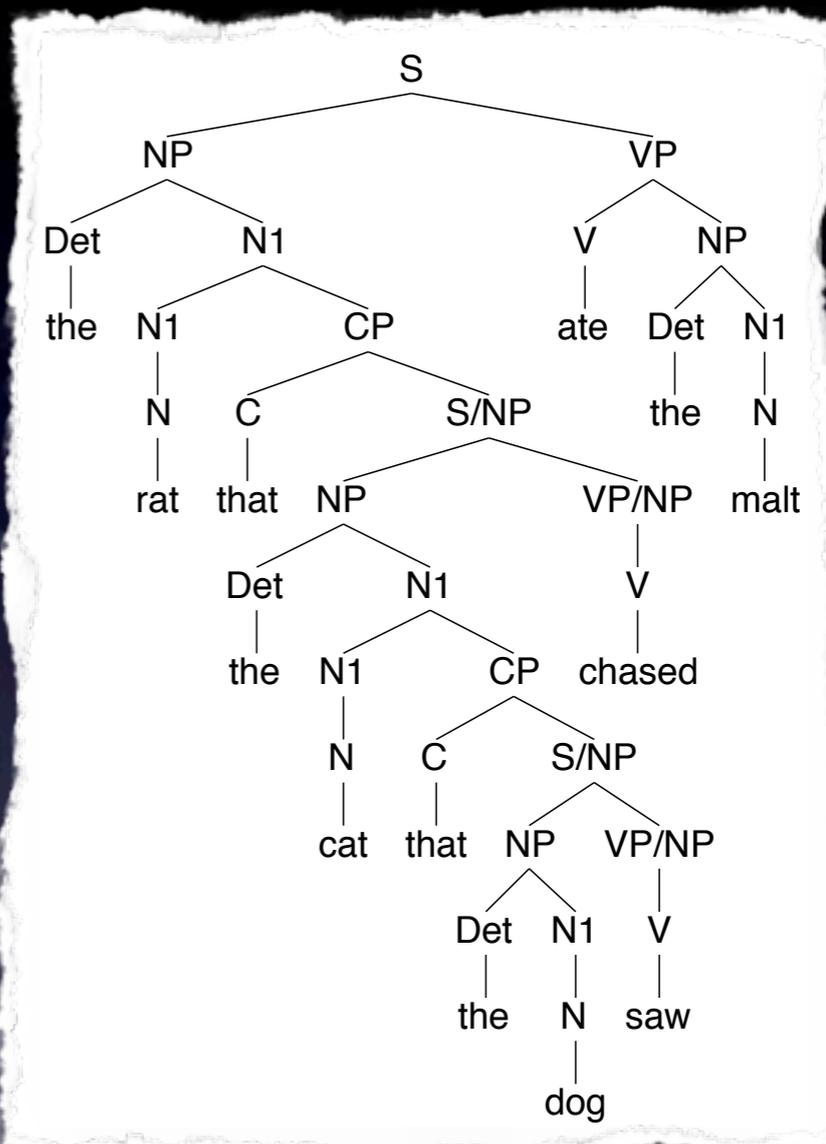
出力：構文木

プログラミング言語のコンパイラやインタープリタに構文解析アルゴリズムが組み込まれている

構文解析

the rat that the cat that
the dog saw chased ate
the cheese

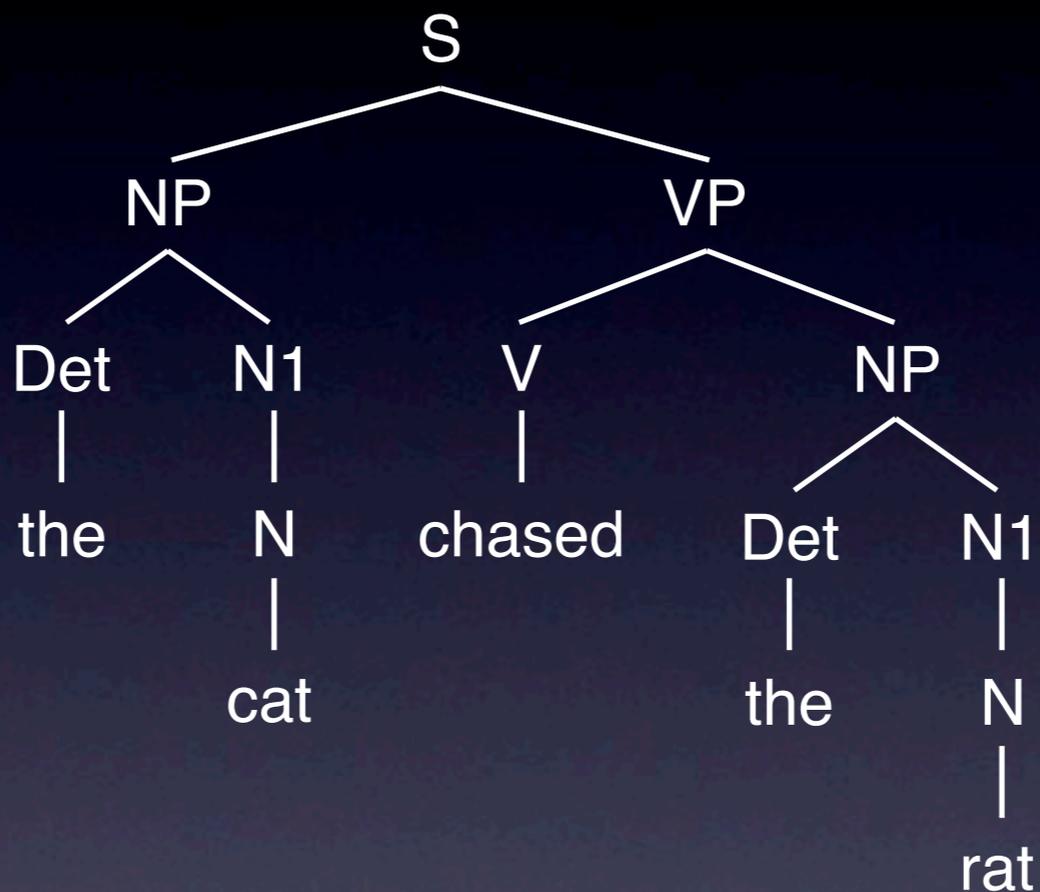
入力：文



出力：構文木

人間の文処理の過程で何らかの構文解析アルゴリズムが
用いられていると想定される

構文木とカッコづけ



[S [NP [Det the]_{Det} [N1 [N cat]_N]_{N1}]_{NP}

[VP [V chased]_V [NP [Det the]_{Det} [N1 [N rat]_N]_{N1}]_{NP}]_{VP}]_S

Dyck言語と文脈自由文法

- 文脈自由文法で記述できる言語はすべてDyck言語に単純な翻訳手続きを適用した結果得られる

Chomsky-Schützenberger (1963)の定理

かっこと入れ子構造

- 人間の言語とそれから派生した人工言語に限られる
- かっこや入れ子構造を操る能力は人間に特有のもの
- 言語に関わる能力のうち人間に特有な唯一の能力

Hauser, Chomsky, & Fitch (2002): *Science* **298**

Dyck言語の2つの部分集合

L_1 $() () () \dots ()$ $S \rightarrow ()$
 $S \rightarrow SS$

繰り返し

L_2 $(((\dots () \dots)))$ $S \rightarrow ()$
 $S \rightarrow (S)$

入れ子のみ

ワタボウシタマリン

Fitch & Hauser (2004): *Science* **303**

- 受動的な「馴化」を使った実験
- 「繰り返し」のパターンしか学習しなかった



ホシムクドリ

Gentner, Fenn, Margoliash, & Nusbaum (2006): *Nature* **440**

- GO/NOGO型の弁別訓練
- 「繰り返し」、「入れ子」のどちらも学習できた



プログラミング言語の文法 と人間の言語の文法の違い

1

構造的曖昧性

英語のミニチュアの文法

$S \rightarrow NP VP$

$VP \rightarrow V NP$

$NP \rightarrow Det N1$

$N1 \rightarrow N$

$N1 \rightarrow N1 CP$

$CP \rightarrow C VP$

$CP \rightarrow C S/NP$

$S/NP \rightarrow NP VP/NP$

$VP/NP \rightarrow V$

$Det \rightarrow the$

$N \rightarrow dog$

$N \rightarrow cat$

$N \rightarrow rat$

$N \rightarrow cheese$

$V \rightarrow saw$

$V \rightarrow chased$

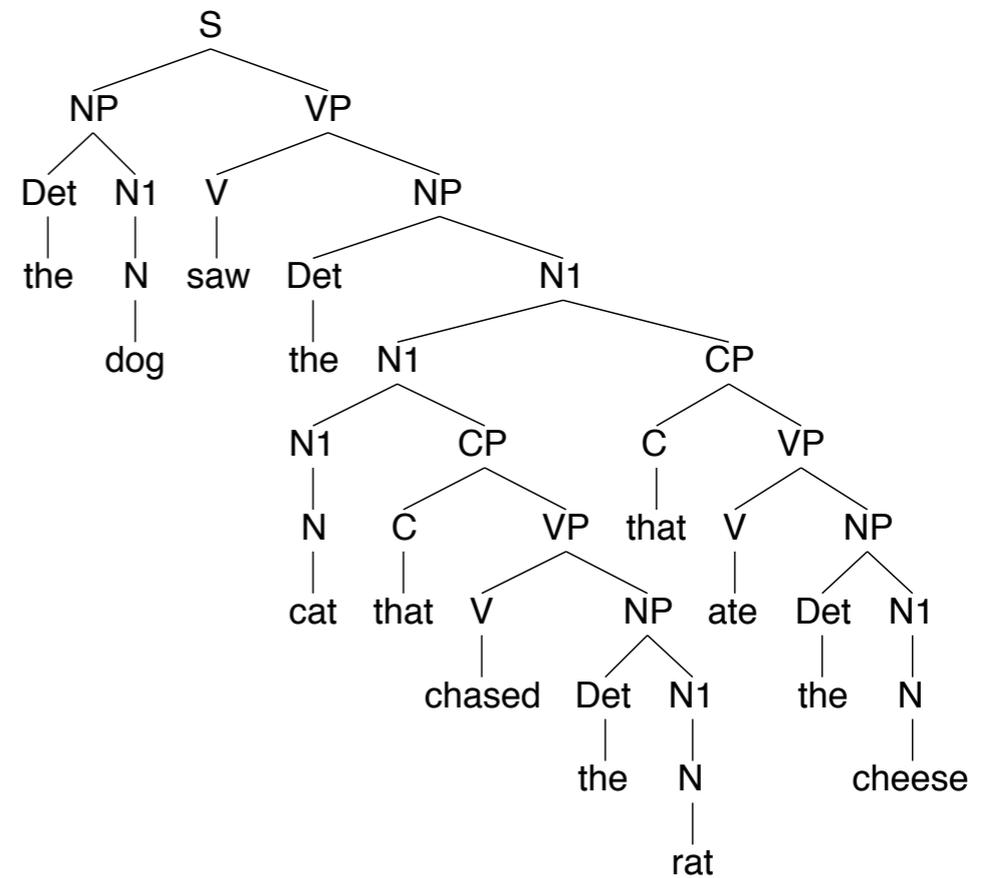
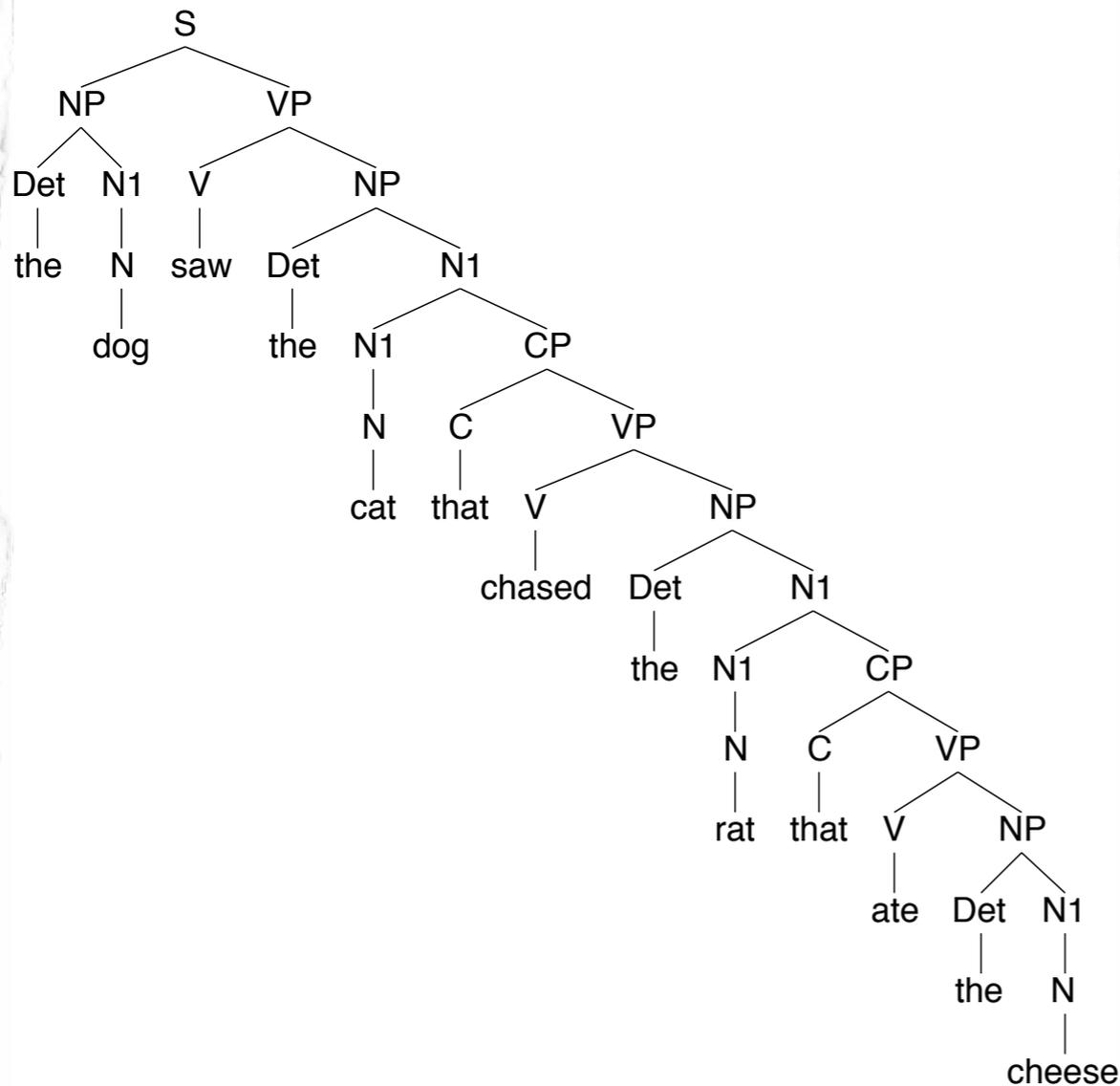
$V \rightarrow ate$

$C \rightarrow that$

the dog saw the cat that chased the rat that ate the cheese

構造的曖昧性

the dog saw the cat that chased the rat that ate the cheese



構造的曖昧性

the dog saw the cat that chased the rat that ate the cheese

the dog saw the cat that chased the rat that ate the cheese

構造的曖昧性

ナチュラルローソンで売っている
ミネラルウォーターを買って来た

ビールより高い

ナチュラルローソンで売っている
ミネラルウォーターを買って来た

ビールより高い

構造的曖昧性

- プログラミング言語には（ほとんど）
全く見られない
 - ➡ 決定的構文解析が可能
- 人間の言語は曖昧性だらけ
 - ➡ 複数の構造の中から状況に応じて最適なものを選ぶ必要がある

スクリーンをご覧ください

実験

被験者ペースの読み

被験者ペーアの読み

A

カツオは勉強に飽きてテレビを見ている妹を叱りつけた

B

マスオは酔っぱらって寝ているタラちゃんをお風呂に
入れようとした

スクリーンをご覧ください

A

カツオは 勉強に飽きて テレビを見ている 妹を叱りつけた

カツオは 勉強に飽きて テレビを見ている 妹を叱りつけた

スクリーンをご覧ください

B

マスオは 酔っぱらって寝ている タラちゃんをお風呂に

マスオは 酔っぱらって寝ている タラちゃんをお風呂に

2

交差

主語と動詞の依存関係

チャールズがメアリーにピーターがジョンに泳ぎを教えるのを手伝わせること

that Charles lets Mary help Peter teach John to swim



daß der Karl die Maria dem Peter den Hans schwimmen lehren helfen läßt



dat Karel Marie Piet Jan laat helpen leren zwemmen



dass de Karl d'Maria em Peter de Hans laat hälfe lärne schwüme



目的語と動詞の依存関係

チャールズがメアリーにピーターがジョンに泳ぎを教えるのを手伝わせること

that Charles lets Mary help Peter teach John to swim



daß der Karl die Maria dem Peter den Hans schwimmen lehren helfen läßt



dat Karel Marie Piet Jan laat helpen leren zwemmen



dass de Karl d'Maria em Peter de Hans laat hälfe lärne schwüme



動詞と目的語の格

dass de Karl d'Maria em Peter de Hans laat hälfe lärne schwüme



対格

与格

対格

～を

～に

～を

{ ({ }) }



かっこが常に交差する言語

		((()))	((((()))))	
		(({ }))	((({ })))	
	((()))	{ () }	(({ () }))	
((()))	{ () }	{ { } }	(({ { } }))	
{ }	{ () }	{ (()) }	(({ (() })))	...
	{ { } }	{ ({ }) }	(({ ({ } })))	
		{ { () }	(({ { () } }))	
		{ { { } }	(({ { { } } }))	

スクリーンをご覧ください

({ { ({ () } }) })

多重文脈自由文法

Seki, Matsumura, Fujii, & Kasami (1991)

$$S \rightarrow A_1 A_2$$

$$A_1 \dots A_2 \rightarrow \{ A_1 \dots \} A_2$$

$$A_1 \dots A_2 \rightarrow (A_1 \dots) A_2$$

$$A_1 \dots A_2 \rightarrow \{ \dots \}$$

$$A_1 \dots A_2 \rightarrow (\dots)$$

S, A: 非終端記号

スクリーンをご覧ください

({ { ({ () } }) })

多重文脈自由文法

- 交差した依存関係を含む構文の記述に必要
- 文脈自由文法で記述できる構文も多重文脈自由文法でよりエレガントに記述できる場合がある
- 数学的にまだ完全に理解されていない

入れ子

かっこ

交差

文脈自由文法

多重文脈自由文法

画像の著作権に関する情報（下線部分はURLへのリンク）

画像	スライド番号	ライセンス	ファイルに関する詳細
コンピュータとスクリーン	2, 4	GNU Lesser General Public License	File:Computer n screen.svg - Wikimedia Commons
John Warner Backus	6, 46	GNU Free Documentation License	File:John Backus.jpg - Wikipedia, the free encyclopedia
Peter Naur	6, 46	GNU Free Documentation License	File:Peternaur.JPG - Wikimedia Commons
Noam Chomsky	6, 45	Creative Commons Attribution 2.0 License	File:Chomsky.jpg - Wikimedia Commons
E. W. Dijkstra	11	GNU Free Documentation License	File:Edsger Wybe Dijkstra.jpg - Wikipedia, the free encyclopedia
フローチャート	12	public domain	File:FlowchartExample.png - Wikipedia, the free encyclopedia
スパゲッティ	13, 21	Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0 License / GNU Free Documentation License	File:Spaghetti.jpg - Wikipedia, the free encyclopedia
道路標識一覧	23	国土交通省道路局 リンク・著作権等について	道路標識 http://www.mlit.go.jp/road/sign/sign/douro/ichiran.pdf
ワタボウシタマリン	70	public domain	File:Saguinus oedipus 1.jpg - Wikimedia Commons
ホシムクドリ	71	Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5 License	File:European Starling 2006.jpg - Wikipedia, the free encyclopedia
アメリカ合衆国の国旗	84, 85	Copyright(C):The Ministry of Foreign Affairs of Japan	外務省: 世界の国旗 (北米)
ドイツ、オランダ、スイスの国旗	84, 85, 86	Copyright(C):The Ministry of Foreign Affairs of Japan	外務省: 世界の国旗 (ヨーロッパ (NIS諸国を含む))
その他の写真	2, 3, 9, 11, 21, 24, 25, 26, 28, 40		講演者が撮影