目から見る言語理解：視線計測による文理解の測定

名古屋大学大学院・人文学研究科・教授　玉岡賀津雄
E-mail: ktamaoka@gc4.so-net.ne.jp
Homepage: http://tamaoka.org/

私は2021年3月31日で名古屋大学を退職します。
しかし，研究という楽しい活動を止めることはとてもできません。**引き続き**研究を行っていきます。

そこで，皆さんと共に**研究を続ける**ために，
今回は，言語研究に使われるようになってきた最新の**視線計測**の研究について紹介します。

視線計測

Eye-tacking

https://www.road-eyes.com/en/products/recpop/　2021.3.25

視線計測の背景知識

テキストを読む際の視線の動き

停留(fixation)

国境の長いトンネルを抜けると…

跳躍(saccade)

停　留（fixation）

●**停留（fixation）**は，視線が止まった状態。視線が停留している間に，視覚情報を得て，それを脳に送って，文字が知覚される。

●停留時間は，一般的な英語のテキストを読む条件で，黙読で平均**225から250ミリ秒**，音読で**275から325ミリ秒**（Rayner, 2009）この間に文字情報が脳に伝えられる。。

●哲学書などは停留時間が長くなる。物語を追うような小説では停留時間は短くなる。また熟達した読み手とそうでない読み手でも停留時間が異なってくる（Rayner, 1998）。テキストの特性や個人の読み能力によってある程度の幅がある。

国境の長いトンネルを抜けると…

跳躍潜時

国境の長いトンネルを抜けると…

跳躍潜時

- 跳躍に要する時間は，**約30ミリ秒**であると報告されている（Abrams, Meyer and Kornblum, 1989）。
- 停留時間は意味的・統語的な解析を含んだオンラインの処理時間である。**跳躍潜時**は処理が進んでいる中で，より完結した情報を求めて読み進むことを判断したり，欠如した情報を求めて読み戻ることを判断したした後で，判断に応じて視線を動かすための信号得て，移動するための時間です。

国境の長いトンネルを抜けると…

人間の視線は，ある語を凝視している場合でも，完全に静止しているわけではなく，絶えずわずかに上下または左右に無意識に動いている。これは，**眼振**（nystagmus）と呼ばれる。

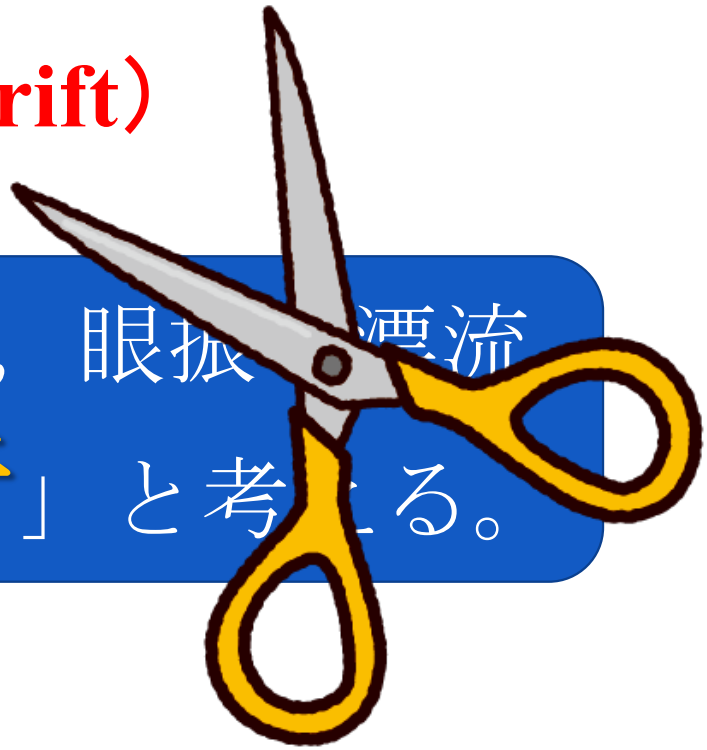
国境の長いトンネルを抜けると…

また，理由もなく視線がゆっくり動いたりすることがあり，これは**漂流**（drift）と呼ばれる。

雑　音

眼振（nystagmus）

漂流（drift）



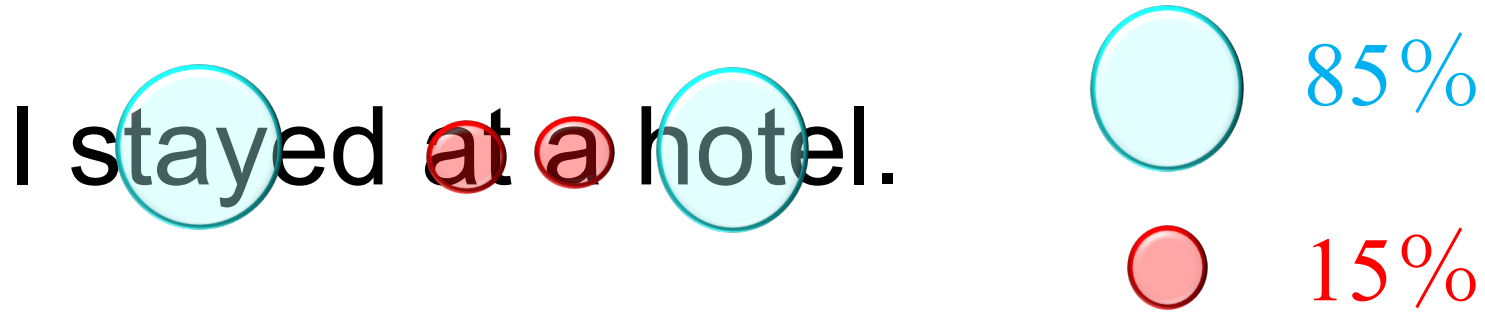
テキストの読みにおいては，眼振，漂流
などの眼球の動きは「**雑音**」と考える。

跳躍の長さ

- 跳躍の長さにも幅があり，アルファベットで1文字から15文字を超えることもある。
- 跳躍の平均の距離は，黙読条件で，英語のアルファベットで，半角の7から9文字，音読条件で，半角の6から7文字くらいである（Rayner, 2009）。
- 日本語であれば，全角表示なので，黙読で4文字，音読で3.5文字くらいに相当する。

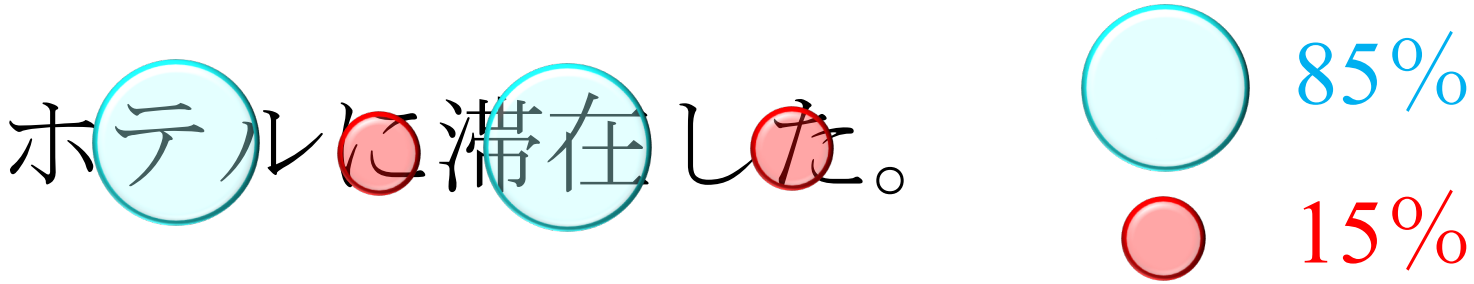
語の種類と停留

- テキストの連続的な読みでは，**内容語**（content words）に85％の割合で停留が起こる。**機能語**（function words）は，わずかに15％の割合でしか停留が起こらない（Rayner and Duffy, 1988; Rayner, 1998, 2009）。
- 機能語である冠詞のaやthe，前置詞のon，for，inなどには停留せず，頻繁にスキップされる。



日本語では

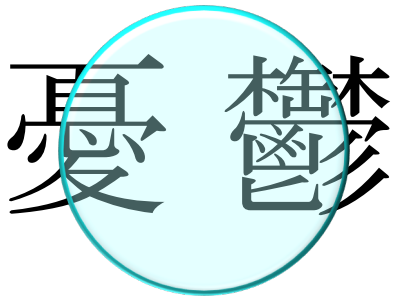
- 日本語で考えると，「ホテルに滞在した。」という場合に，場所格の「に」やサ行変格活用動詞（軽動詞）の「する」の過去形の「した」には停留することはあまりなく，「ホテル」と「滞在」に停留することが多いということになる。

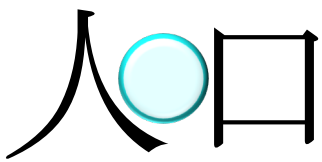


- もちろん，「に」や「した」を読んでいないわけではなく，「ホテル」の領域に停留すると「に」も同時に見え，「滞在」に停留すると「した」も同時に見えるという意味である。

停留に影響する要因
―視覚的複雑性と使用頻度―

内容語が「憂鬱」のように15画と29画の合計44画という視覚的に複雑な漢字語の場合は，停留する割合も高くなり，時間も長くなる傾向がある。





もちろん，使用頻度の高い語のほうが使用頻度の低い語よりも視線の停留が短くなることが報告されている（Inhoff and Rayner, 1986; Rayner and Duffy, 1986）ことからも推測できるように，画数が多くても使用頻度が高い場合は，停留時間は短くなる。

知覚域（perceptual span）

１回の停留で見える範囲を**知覚域**（perceptual span）と呼ぶ。知覚域についてはさまざまな実験手法を駆使した研究が展開されてきた（Den Buurman, Roersema and Gerrissen, 1981; McConkie and Rayner, 1975, 1976; McConkie and Zola, 1979; Rayner, 1975; Rayner and Bertera, 1985, この分野の研究の批評と解説はRayner, 1998, 2009）。

https://woman.mynavi.jp/article/140614-40/　2021.3.25

知覚域と個人差

- 知覚域は，英語，フランス語，オランダ語などのアルファベット表記の言語で一貫しており，視線停留位置から左に半角で3から4文字以内，右に半角で14から15文字以内であるとされている（Rayner, 1998, 2009; Rayner, Well, Pollatsek and Bertera, 1982）。
- ただし，英語の読みにおいて，1分間に約330語を読む速読者と1分間に約200語を読む遅読者を比較すると，速読者のほうが遅読者と比べて知覚域が広いことが実証されており（Rayner, Slattery and Bélanger, 2010），個人差が大きいこと

Culture is the social behavior and norms in human societies…

文化とは社会行動および人間社会における規範・・・

文化是社会行为和人类社会的规范・・・

英語，日本語，中国語における1回の停留による知覚域
注: ○が停留で，□が知覚域である。

日本語と中国語の視覚域

- 日本語の漢字仮名混じりのテキストの知覚域は，アルファベットのテキストとほぼ同じである（Osaka，1989，1992）。一方，中国語の知覚域は，停留位置から左に全角で1文字，右に全角で3文字であると報告されている（Inhoff and Liu, 1998）。

文化是社会行为和人类社会的规范・・・

視線計測の技術的な話

玉岡研究室グループ

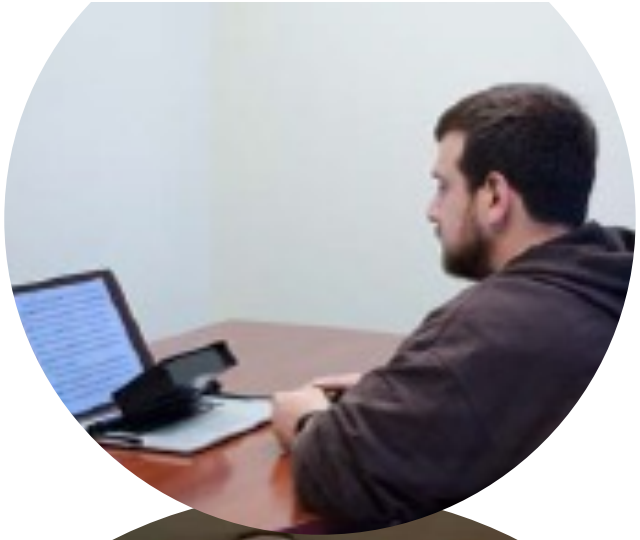
玉岡研究室のグループでは，カナダ製のEyelink 1000（SR Research社製，Eyelink CLデスクトップ型）とPortable Duoを視線計測に使ってきた。

EyeLink Portable Duo

- 2019年からEyeLink Portable Duoと呼ばれる小型の視線計測装置が登場した。
- Portable Duoは，小型のノートパソコンに接続するだけで使用できるので，キャリーバックに入れて持ち運びができる。

ポータビリティ

- 世界のどこでも実験できる。たとえば，動詞・目的語・主語（VOS）を正順語順とする中央アメリカのグアテマラで話されているマヤ諸言語の**カクチケル語**とか，動詞・主語・目的語（VSO）の正順語順を持つ南太平洋のトンガ王国で話されている**トンガ語**とか，世界中の少数言語の視線計測実験でも威力を発揮するはずである。
- Portable Duoはポータブルな小型ではあるが，精度が高く，顎台で頭部を固定した場合には2000Hzまでの時間分解能があるとされている。



顎 台

- 顎台というと，顎を固定して動かせないので苦しいという印象を持つかもしれない。
- しかし，実際には，頭を自由に動かせる状態で，「頭を動かさないように」と言われて，それを意識しながら課題を行うよりも，顎台に顎をのせて頭部を固定しておくほうが，楽に課題が行えるようである。

時間分解能
（サンプリングレート（sampling rate）

•Eyelink 1000は，名前が示すように1000Hzでの計測が可能であり，これは1ミリ秒単位の測定である。この測定単位を**時間分解能**あるいは**サンプリングレート**（sampling rate）という。

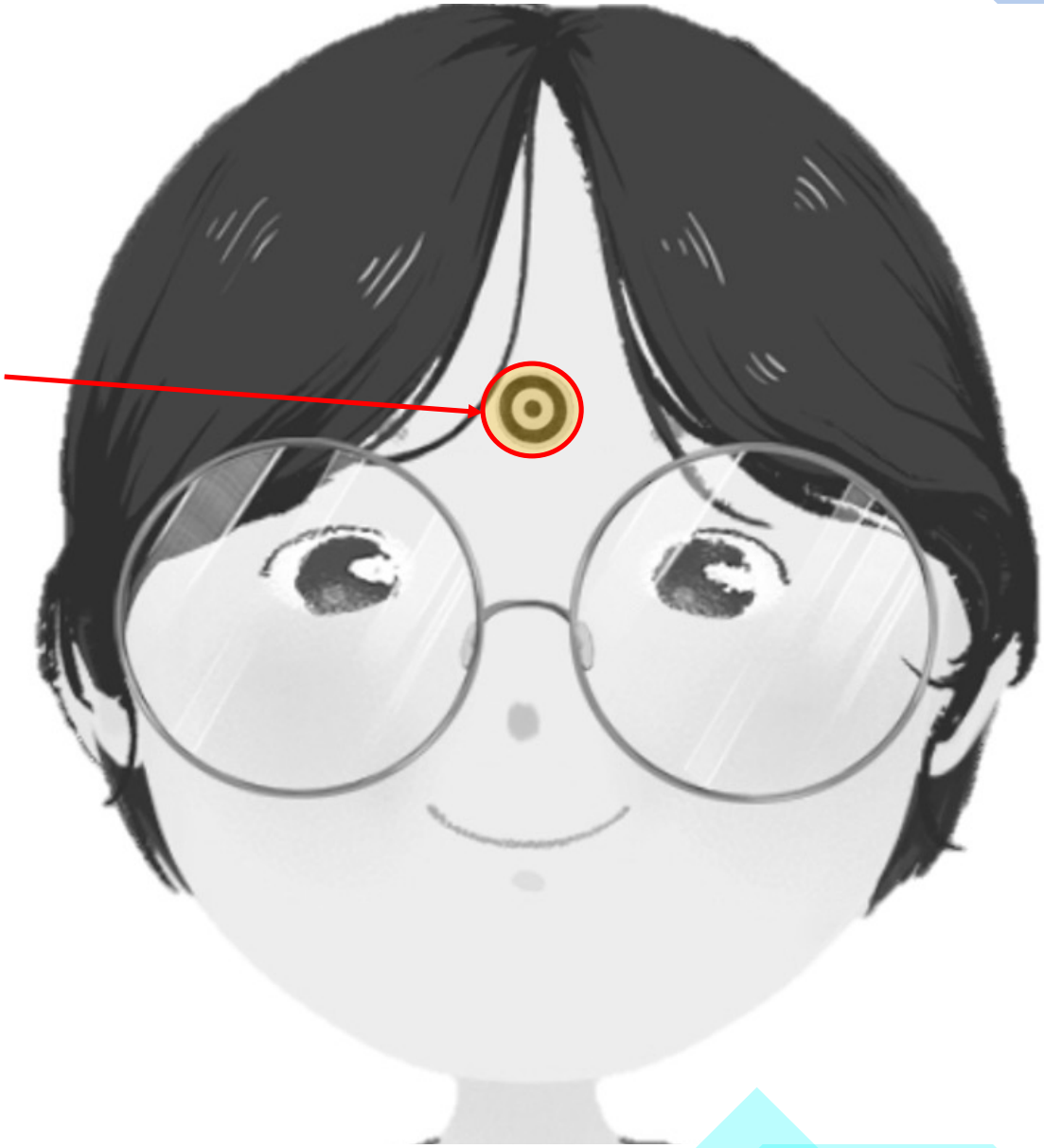
•言語処理における詳細な視線の停留と跳躍の測定が要求される言語処理には，**2ミリ秒単位の500Hzあるいは１ミリ秒単位の1000Hz**くらいの精度が適当であると思われる。

•また，計測には，左右の一方の目の視線だけを測定するように設定することが多い。

カリブレーション（calibration, 補正）

- 視線計測の測定では，**顎台で頭部を固定**するか，**頭部自由移動モード**にするかのいずれかの方法がとられる。
- 頭部自由移動モードとは，EyeLinkの場合は，額の中央に黒と白の色の円形のシールを張って，スクリーンと被験者の距離を測定して，**カリブレーション（calibration, 補正）**を行う方法がある（眼鏡のように装着するモードもある）。
- このシールは，**標的ステッカー**（target sticker）と呼ばれる。頭部自由移動モードは，語や文の発音課題や手話などの実験に有効である。

標的ステッカー
（target sticker）



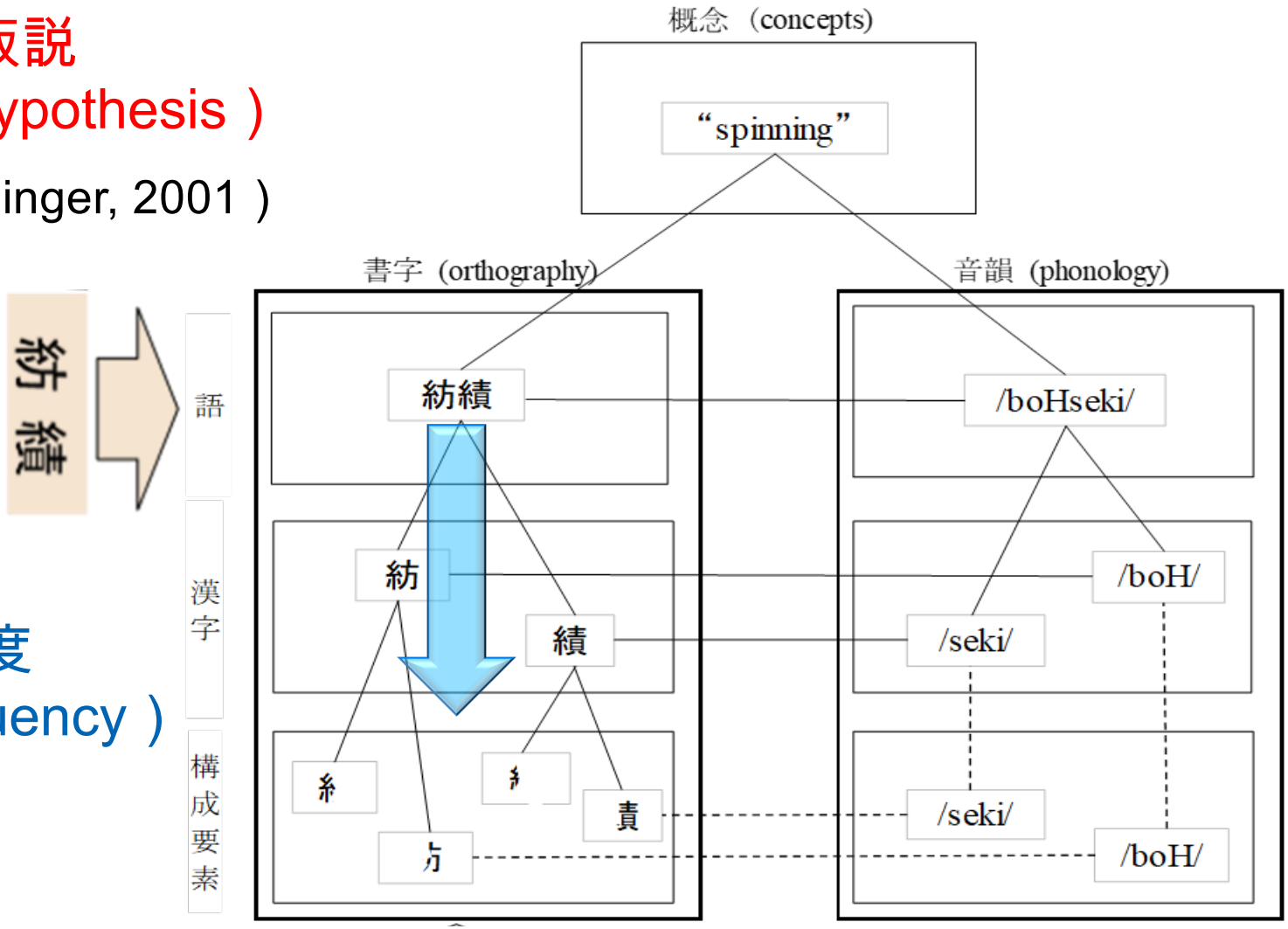
SR Research社は，EyeLink 1000とPortable Duoを2ミリ秒単位の500Hzで，顎台で頭部を固定した条件と頭部を自由に動かせる条件で誤差を測定，500Hzであれば，いずれの条件であっても測定誤差がほとんど変わらないことと報告されている。

Portable Duoを頭部自由移動モードで使用する場合には，2ミリ秒単位の500Hzにするのが最適であろう。

語彙レベルの視線計測

超語彙仮説
(supralexical hypothesis)

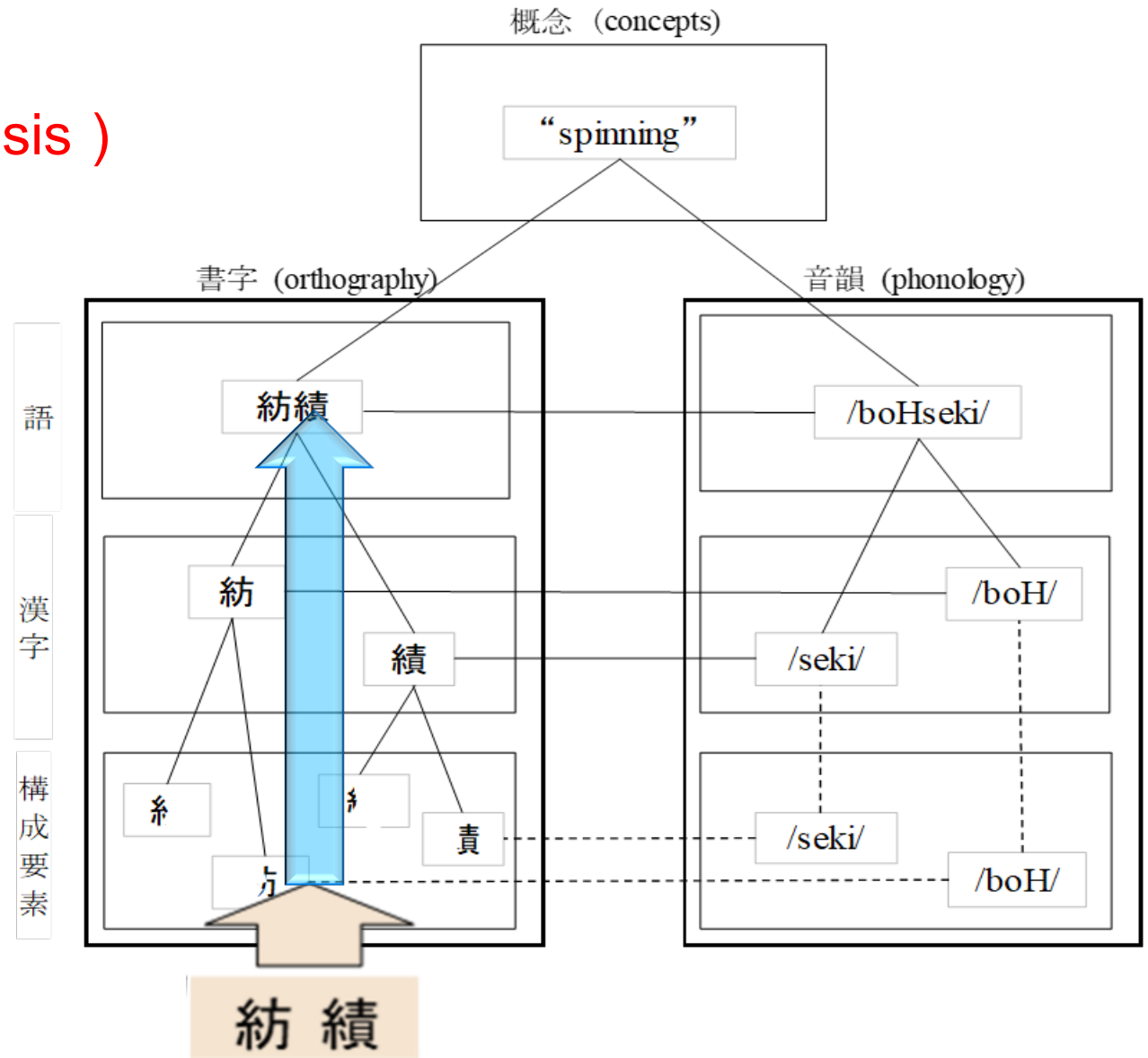
(Giraudo and Grainger, 2001)



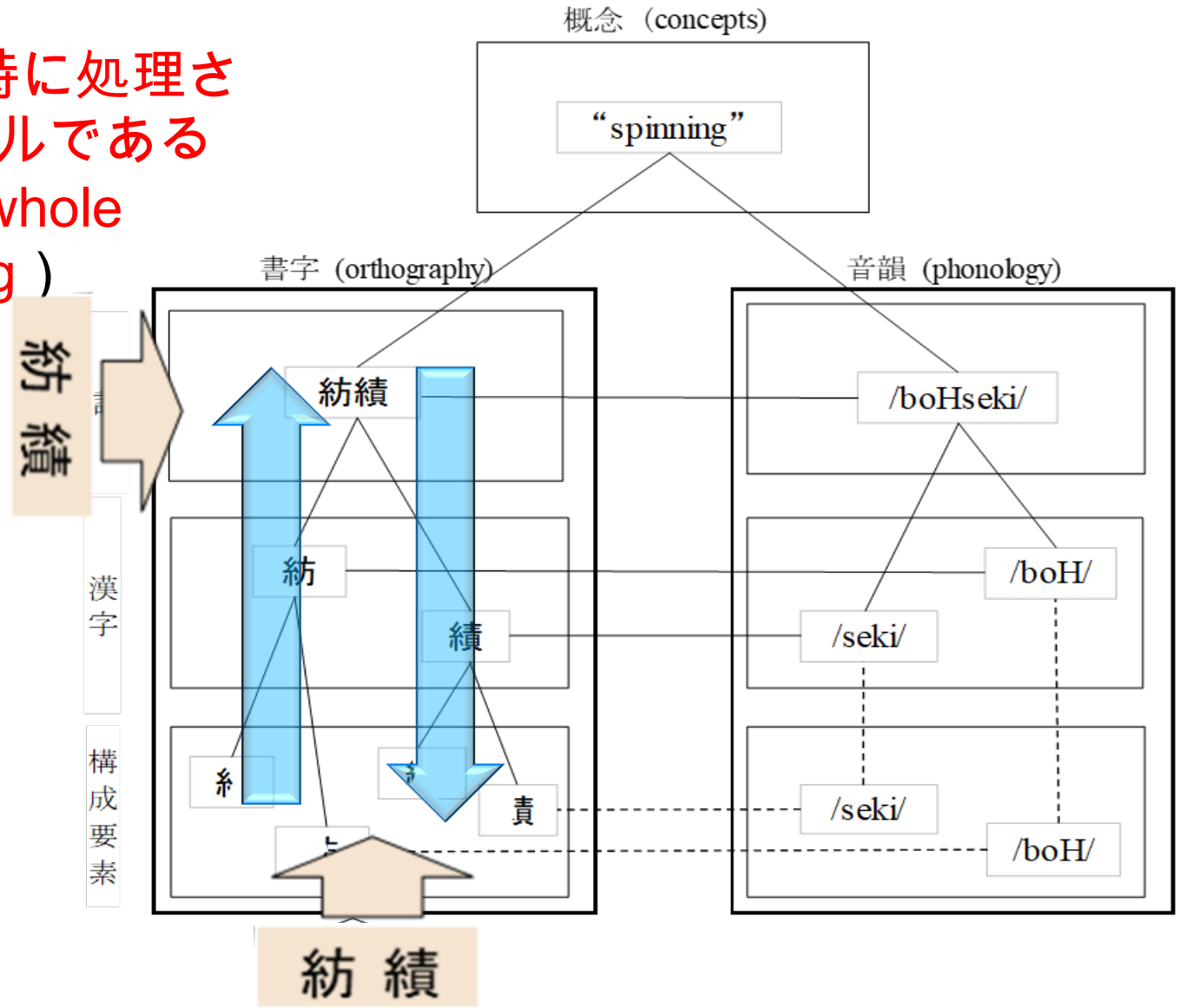
語彙使用頻度
(word used-frequency)

下位語彙仮説
(sublexical hypothesis)

(Taft, 2004; Taft and Nguyen-Hoan, 2010)



部分と全体が同時に処理されるというモデルである（part-and-whole processing）

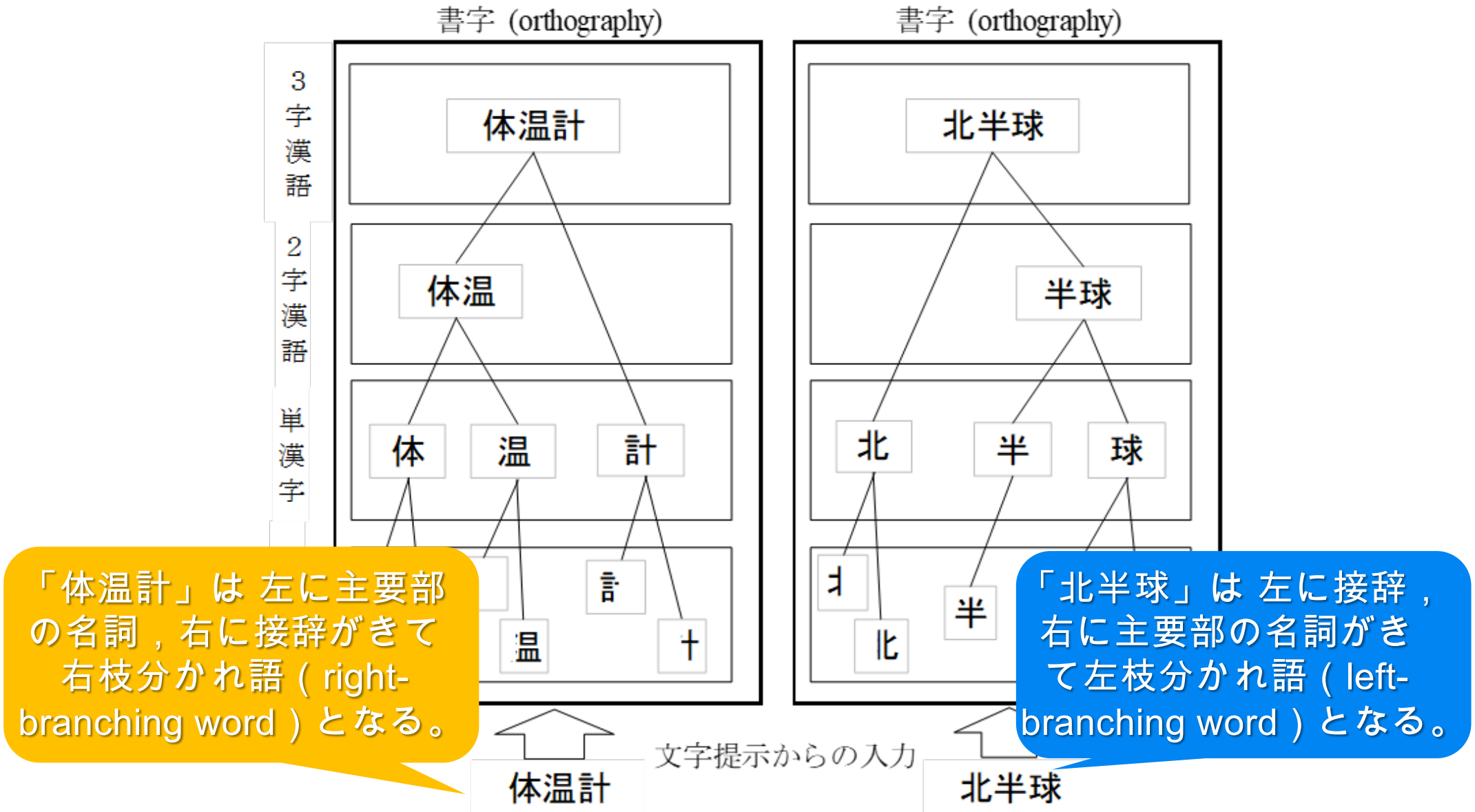


視線計測の実験（Miwa, Libben and Ikemoto, 2017）

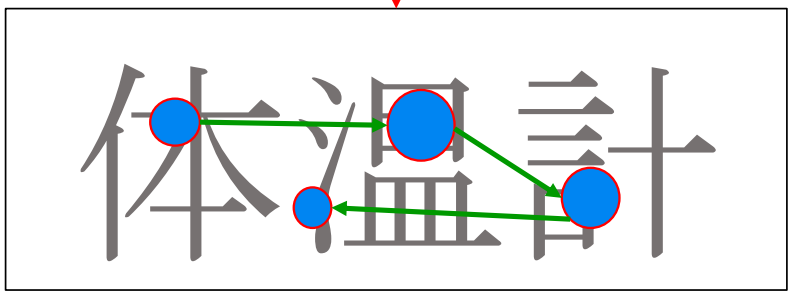
名古屋大学
三輪晃司

Miwa, K., Libben, G., & Ikemoto, Y. (2017). Visual trimorphemic compound recognition in a morphographic script. *Language, Cognition and Neuroscience*, 32(1), 1-20.

●**接辞**とは，それ自身で単独で使われることはなく，語の基本的な要素である語基（base）に付加して派生語を形成する形態素をいう。日本語の場合は，接辞がつく位置により，接頭辞（prefix）と接尾辞（suffix）に分けられる。接頭辞は，語基の前につく接辞であり，「超音速」「旧市街」「未経験」などの下線部にあたる。（詳細は，石川，2016; 野村, 19897; 斎藤, 2005, 2007, 2016など, 英語については，西川, 2006, 2013を参照）。


書字 (orthography)
書字 (orthography)
3字漢語
2字漢語
単漢字
体温計
体温
体
温
計
北半球
半球
北
半
球
「体温計」は 左に主要部の名詞，右に接辞がきて右枝分かれ語（right-branching word）となる。
「北半球」は 左に接辞，右に主要部の名詞がきて左枝分かれ語（left-branching word）となる。
文字提示からの入力
体温計
北半球

英語ではinterest areasあるいはareas of interestと呼ばれ，直訳すると「興味がある領域」という意味になり，IAと省略されることが多い。ここでは，測定領域と呼ぶ。



Miwa et al., (2017)の結果

(1) どのような階層構造を持つモデルを想定しても，そのモデル一つでは実験結果をうまく説明できない。

(2) 初期段階は branching structure を想定しない場合が一番もっともらしく，後期段階は left-branching が一番もっともらしい。

(3) ２番目の漢字は積極的に処理されない。

三輪晃司先生とは，今後，こうした研究を共に行って行きたい。

動詞句レベルの視線計測

熊可欣・ 玉岡賀津雄・ マンスブリッジ パトリック マイケル (2016). ２言語間の非選択的活性化は統語情報の処理においても起こるか―日中同形同義漢語動詞の受動態の処理を例に―. *認知科学, 23(4)*, 395-410.

同形，同義，同品の語彙でも難しいの？

- 日本語と中国語の同形，同義，同品の語彙の理解では，中国語からの正の転移が強く，中国語を母語とする日本語学習者の語彙処理に**有利に働く**といわれている（張麟声, 2014）。
- 「逮捕」と「準備」は，同形同義語であり，日中共に他動詞であるが，能動と受動の**態（voice）の使用頻度に違いがある**。
- 中国語では，「逮捕」は受動態で頻繁に使われるものの，「準備」は受動態で使われることはほとんどない。たとえば，日本語では，「逮捕」という2字漢語にサ変動詞を付加して動詞の受動態（受身形）で「健二が逮捕された」と表現することができる。

態の母語（中国語）での使用頻度が日本語の理解にどう影響するの？

- 中国語でも，「介詞」と呼ばれる受身表現の「被」（建石，2017）を伴って「健二被逮捕了」と受動態で使える。そのため，中国語の「逮捕」の情報をそのまま日本語に転用して容易に理解できると思われる。
- 中国語の「準備」は，受動の「被」と共に使用されることがほとんどない。「資料が準備された」の受動文を中国語に直訳すると「? 资料被准备了」となり，中国語では不自然な文になる。したがって，中国語母語話者には，日本語で「準備」が受動態として使われると理解し難いのではないかと予想される。

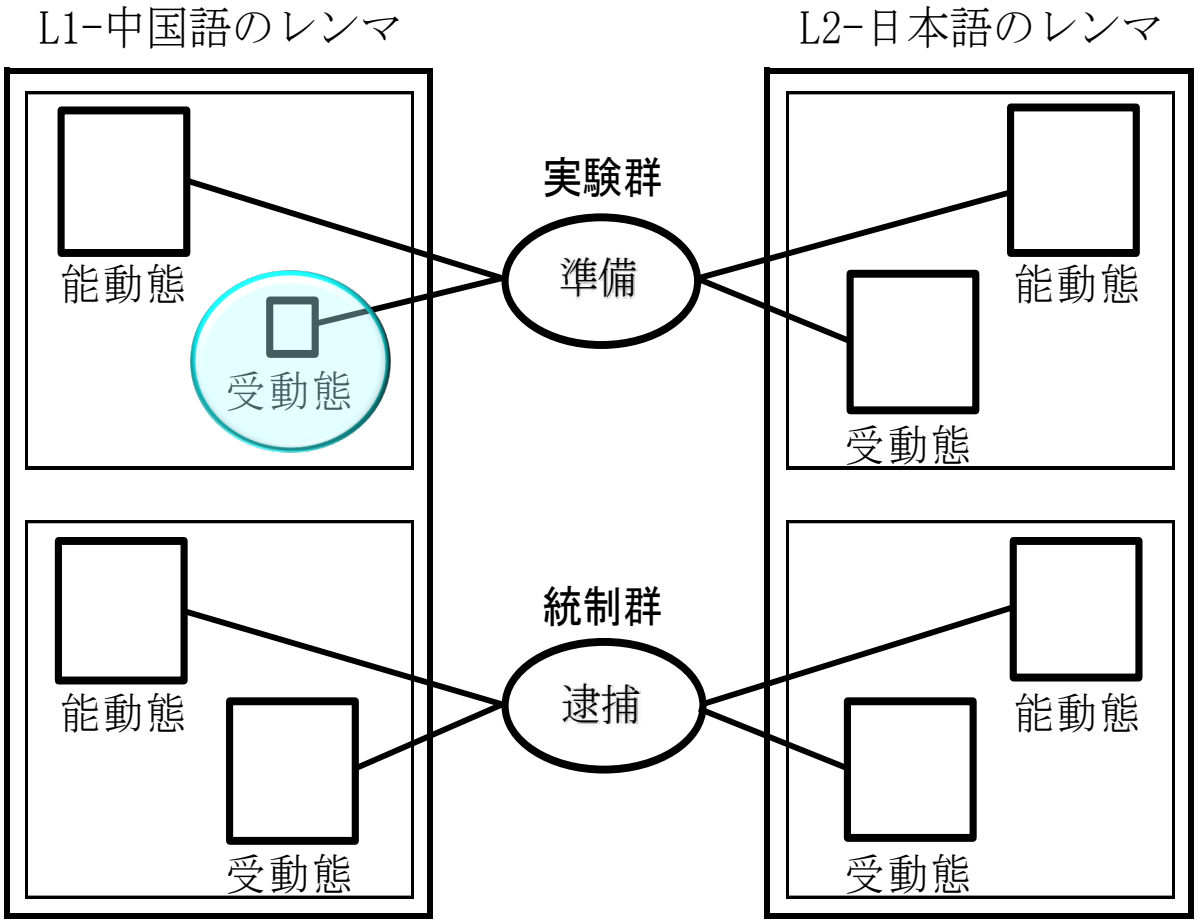
日中の受動態の違い

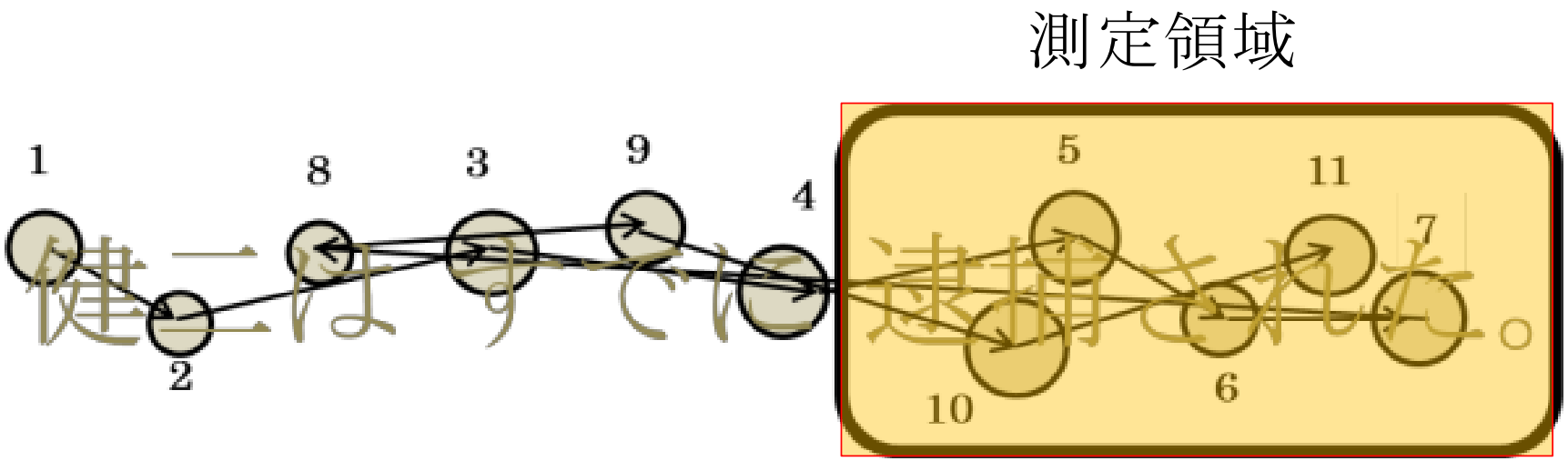
- 中国語の受動態は，被害や迷惑などを受けるとか，選択される（「選ばれる」に対して「被选中」），賞賛される（「褒められる」に対して「被表扬」）など，なんらかの影響関係がある場合に使われる。
- 「準備」の場合，動作の結果を示すことになり，結果補語の「了」などを伴うことが多い。「準備」は，もともと結果や状態を含意しているので，（木村, 1992; 豊嶋, 1988; 楊彩虹, 2009; 王亜新, 2016），受動態にすることができない動詞である。

結果的に，日中で共に動詞として使われても，能動と受動の態の使用頻度に大きな違いがあり，それが日本語の理解に強く影響するのではないかと予想される。

レンマ（統語表象）の中国語と日本語の二言語間の結合関係

脳内には，**レンマ**と呼ばれる語彙の統語情報の記憶がある(Levelt, Roelofs & Meyer, 1999)。





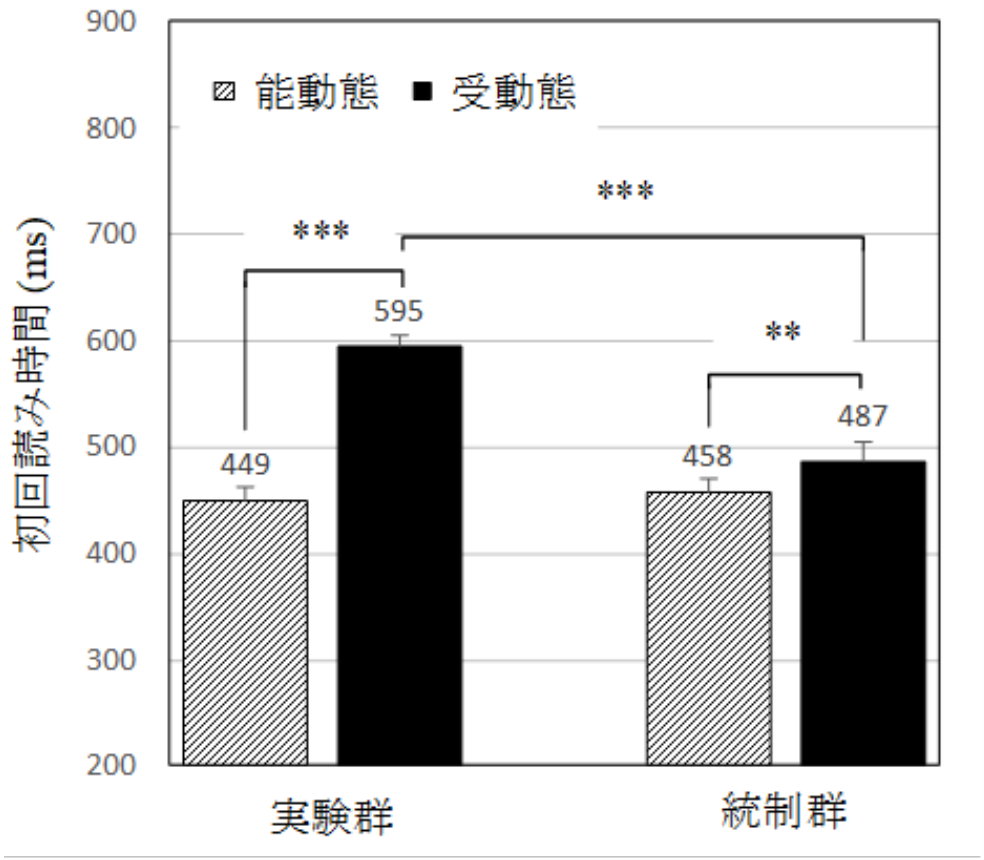
初回停留時間（first fixation time）：5

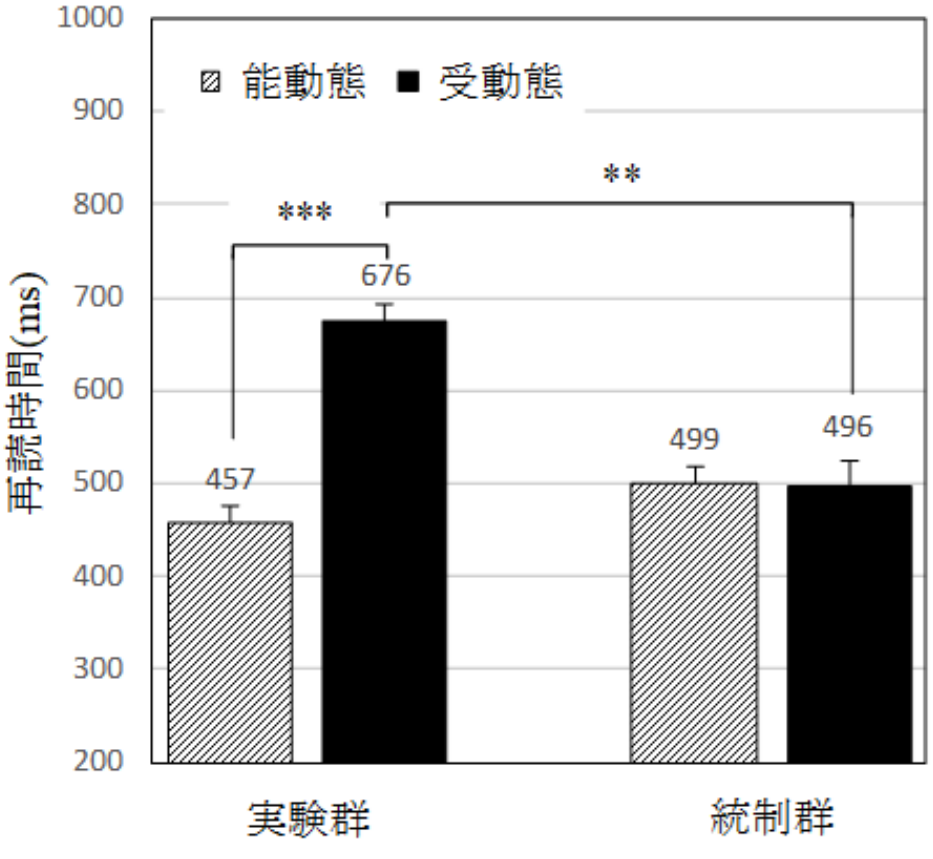
初回停留継続時間（first fixation duration）：　5+6+7

再読時間（re-reading time）：10+11

総停留時間（total dwell time): 5+6+7+10+11

中国人日本語学習者の正答率は高く，
統制している。
処理時間のみを分析する。そのため，
視線の停留時間のみを分析の対象
としている。


900
800
700
600
500
400
300
200
初回読み時間 (ms)
能動態
受動態
***
***
**
449
595
458
487
実験群
統制群


1000
900
800
700
600
500
400
300
200
再読時間(ms)
能動態
受動態
***
**
457
676
499
496
実験群
統制群

初回停留時間

実験群　　⊿実験群＝受動態－能動態＝**146 ミリ秒**
統制群　　⊿統制群＝受動態－能動態＝ 29 ミリ秒
⊿実験群－⊿統制群＝**117 ミリ秒**

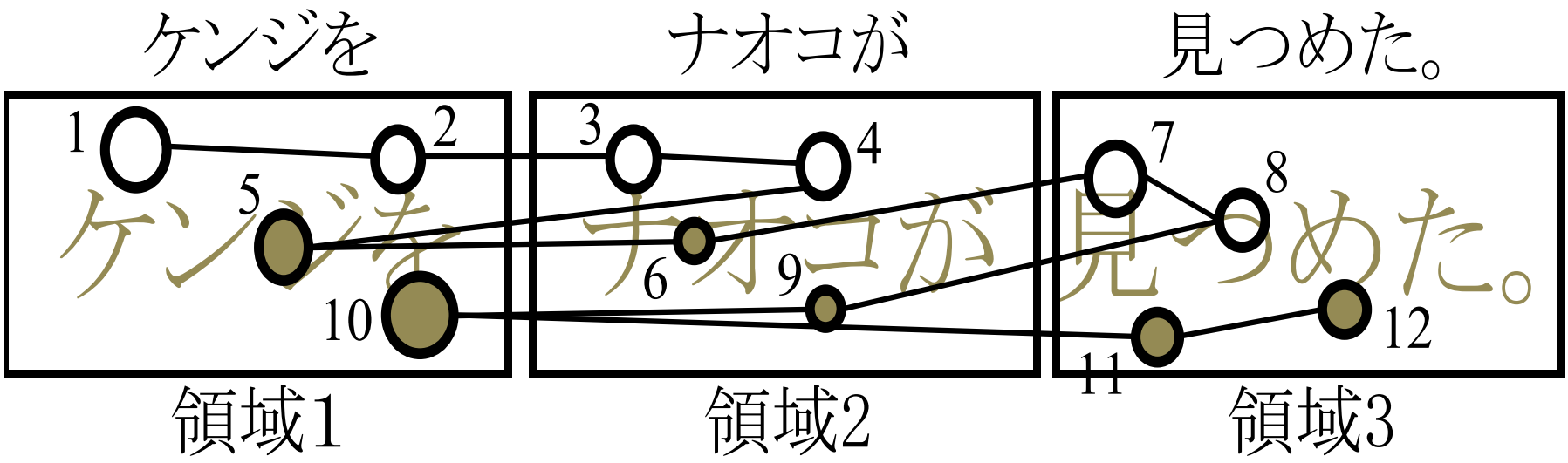
再読時間

実験群　　⊿実験群＝受動態－能動態＝**219 ミリ秒**
統制群　　⊿統制群＝受動態－能動態＝ 3 ミリ秒

⊿実験群－⊿統制群＝**216 ミリ秒**

文レベルの視線計測

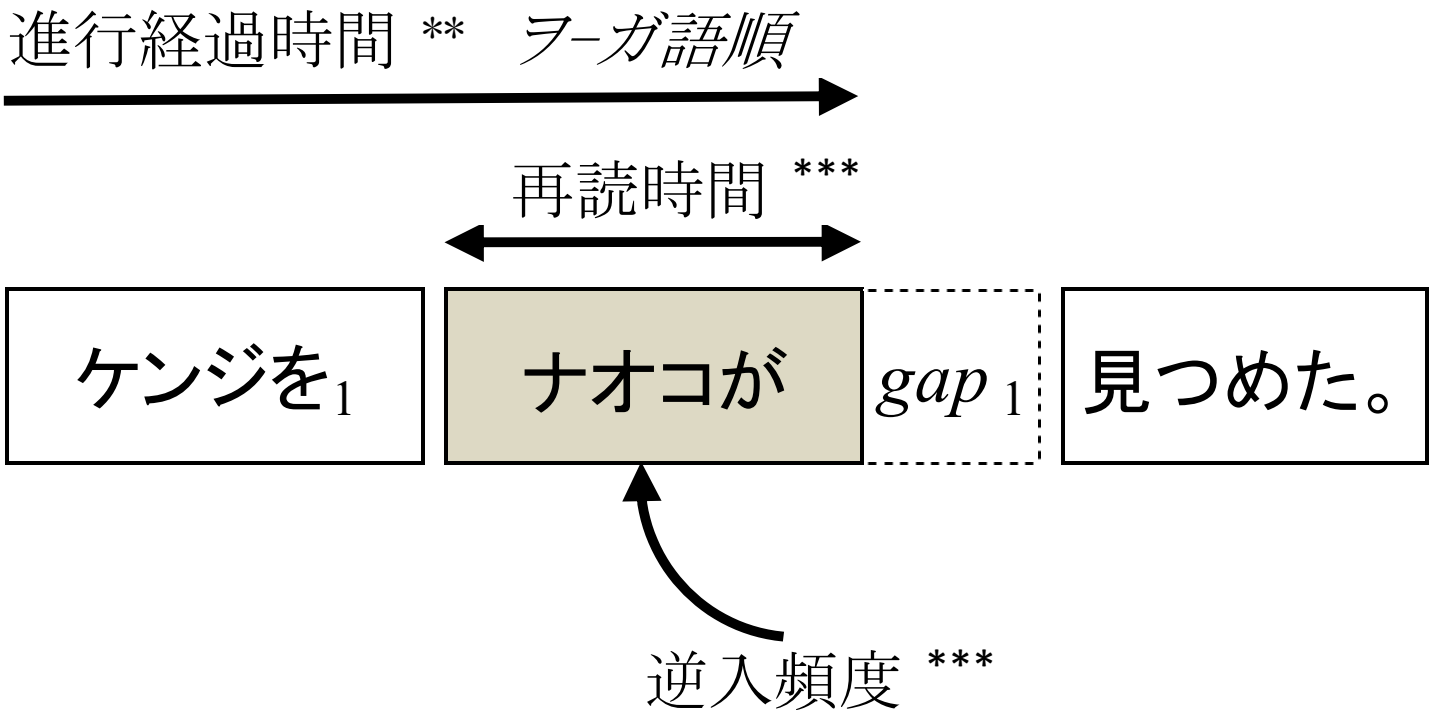
Tamaoka, K., & Mansbridge, M. P. (2019). An Eye-tracking Investigation of Pre-head and Head-driven Processing for Scrambled Japanese Sentences. *Gengo kenkyu (言語研究)*, 155, 35-63.



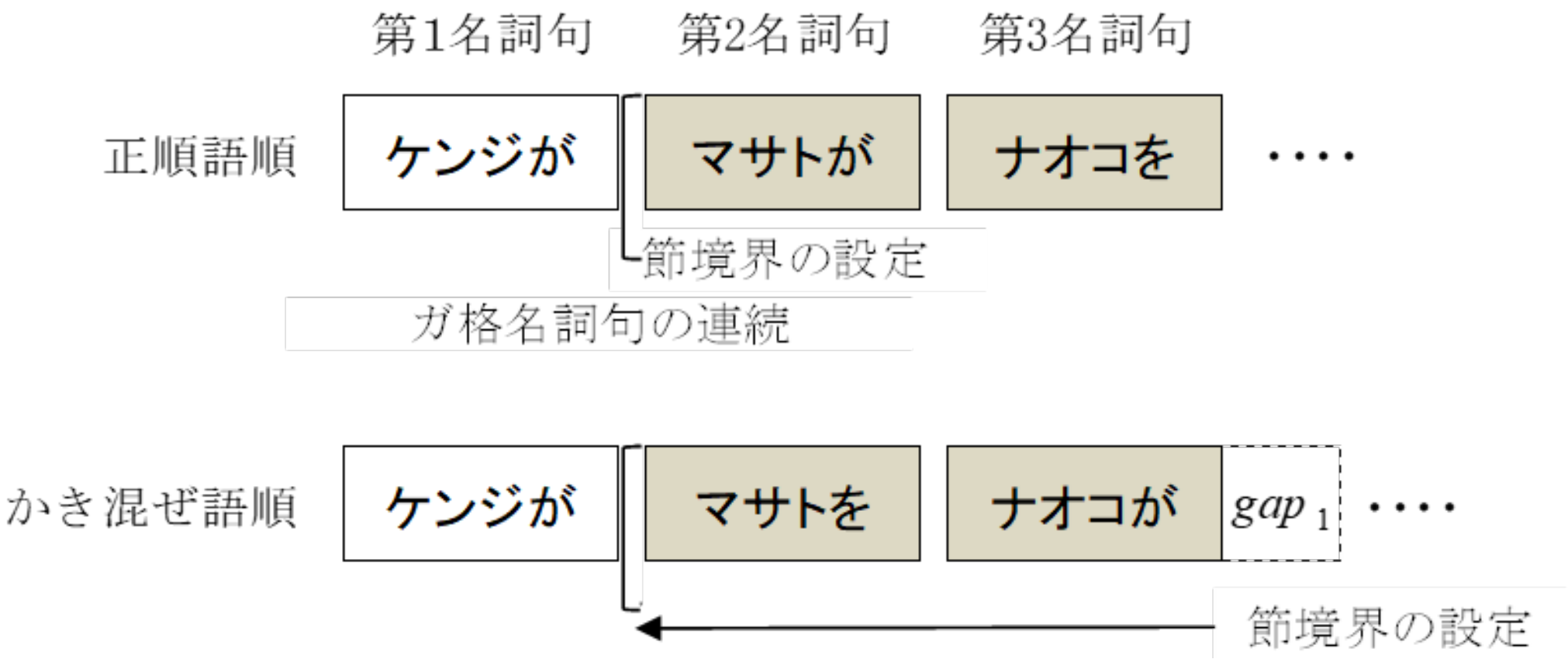
かき混ぜ語順の文の視線計測における
測定領域と跳躍および停留の例

	領域1	領域2	領域3
正順語順	ケンジが	ナオコを	見つめた。
かき混ぜ語順	ケンジを	ナオコが	見つめた。

視線計測のための正順語順と
かき混ぜ語順の最小対の文



かき混ぜ語順の文の進行経過時間,
再読時間および逆入頻度



ガ格名詞が２つ連続した場合の**節境界設定**処理

視線計測を使った今後の研究

食べた

動詞駆動型処理 ？

他動詞

動作主　「弟が」
対象　　「ラーメンを」
過去形　すでに食べ終わっている。

日本語

日本語の正順語順は、

主語（Subject）

目的語（Object）

動詞（Verb）

SOV語順 動詞が最後にくる．

理解が難しい最悪の言語

弟がコーヒーを飲ん

姉がカレーを作った。

もし、世界に動詞からはじまる言語があったらどうなる？

トンガ
Tonga

基盤研究(S)　OS言語からみた「言語の語順」と「思考の順序」に関するフィールド言語心理学的研究
(研究代表者 - 東北大学 教授 小泉 政利)

https://ja.astronism.org/astrogenology/Astronism-in-Tonga　2021.3.25

トンガ王国（The Kingdom of Tonga）には169の島があり、そのうちの36島が無人です。人口は、約10万人で、70％がトンガタプ島に住んでいます。

動詞から始まる言語は
どのように理解されるのでしょうか？

中央アメリカから南アメリカに広がる多くのインカ語族やトンガ語などの南太平洋の言語の多くは，動詞が文の初めにきます。

文の初めに動詞がくるので，主語や目的語の特性ばかりか時制の情報まで文頭で示されるのです。

トンガ語

Na'e kai	'e he fefine	'a e ika.
食べた	女性が	魚を
V	S	O

動詞駆動型処理　VSO（動詞）がはじめにくる

そうなると，トンガ語はヨーロッパ言語よりもさらに「動詞駆動型処理」が効率的に機能する言語である。

トンガ語は究極の進化を遂げた言語なのでしょうか。

https://note.com/19815351/n/n7827deb05fc2　2021.3.25

私（玉岡）
東北大学
小泉 政利
宮崎大学
張婧禕

研究はまだまだこれから

まだまだこれから**いろいろ**な研究を

継続していきたいと思っております。

どうもありがとうございました。
Homepage: http://tamaoka.org/