

「進化認知科学」「言語情報科学特別講義I」

2011年9月30日 14:00～15:30

# 眼球運動測定を利用した 心理言語学研究

理化学研究所

神長 伸幸



注意と注視点

眼球運動測定の原理

読みの眼球運動

話し言葉を理解しているときの眼球運動

眼球運動測定の利点と限界

質疑応答

# 注意と注視点

# カメラのイメージ



# 目で見たイメージ

中心窩  
fovea

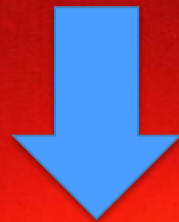
傍中心窩  
parafovea

周辺視野  
peripheral  
vision





解像度の高いイメージは中心窩のみ



自分が最も興味を持っている位置に  
視点をあわせる必要がある

# 心眼仮説 (Eye-Mind Hypothesis)

Just & Carpenter (1980)

注視点 = 注意している場所

常に成り立つ  
わけではない。



# 眼球運動測定の実験

tobii

Tobii 1750

# 近赤外線光の反射イメージ

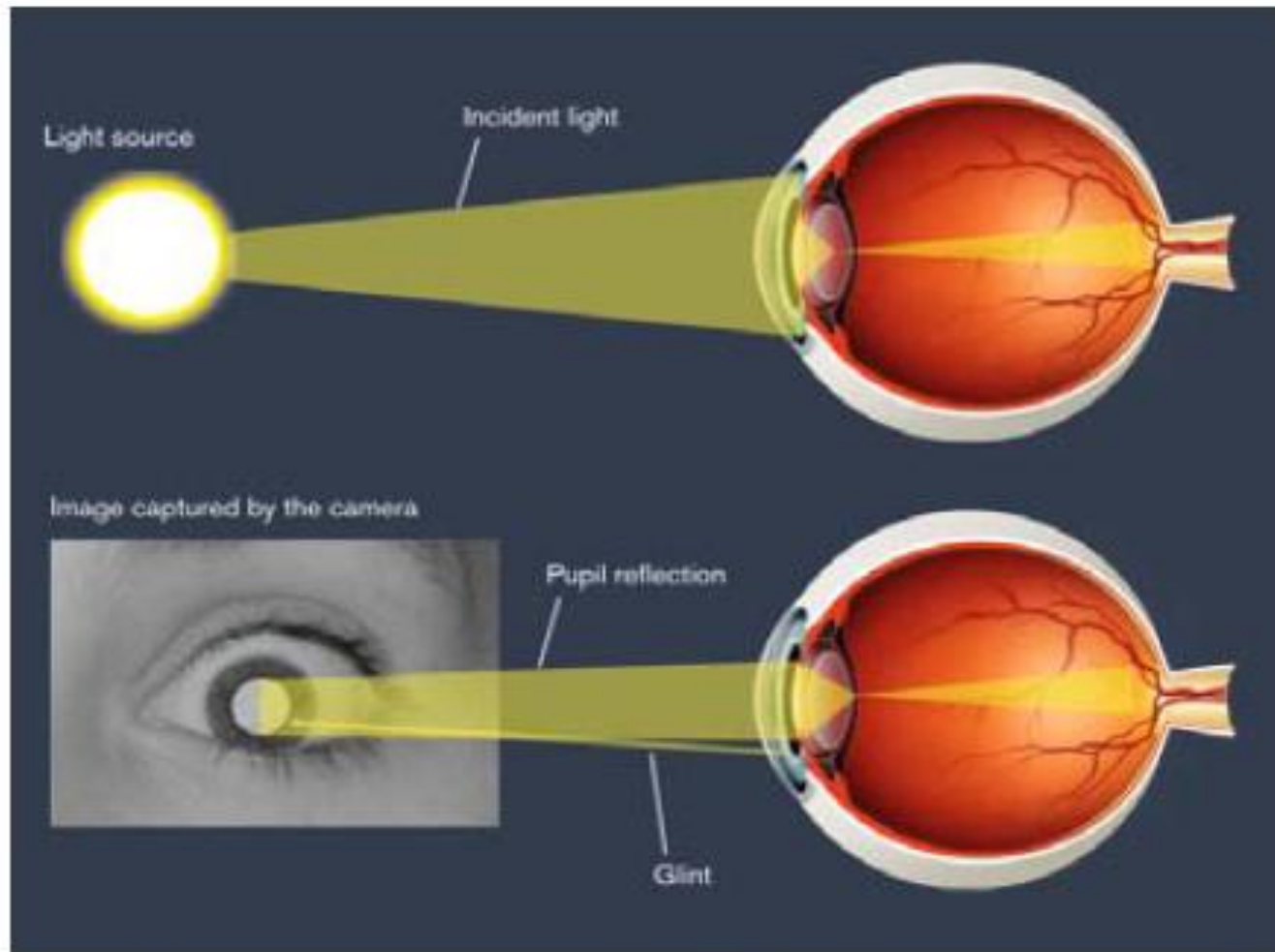


Figure 4 Pupil Centre Corneal Reflection technique (PCCR)

# 注視点ごとの瞳孔と角膜反射像の関係

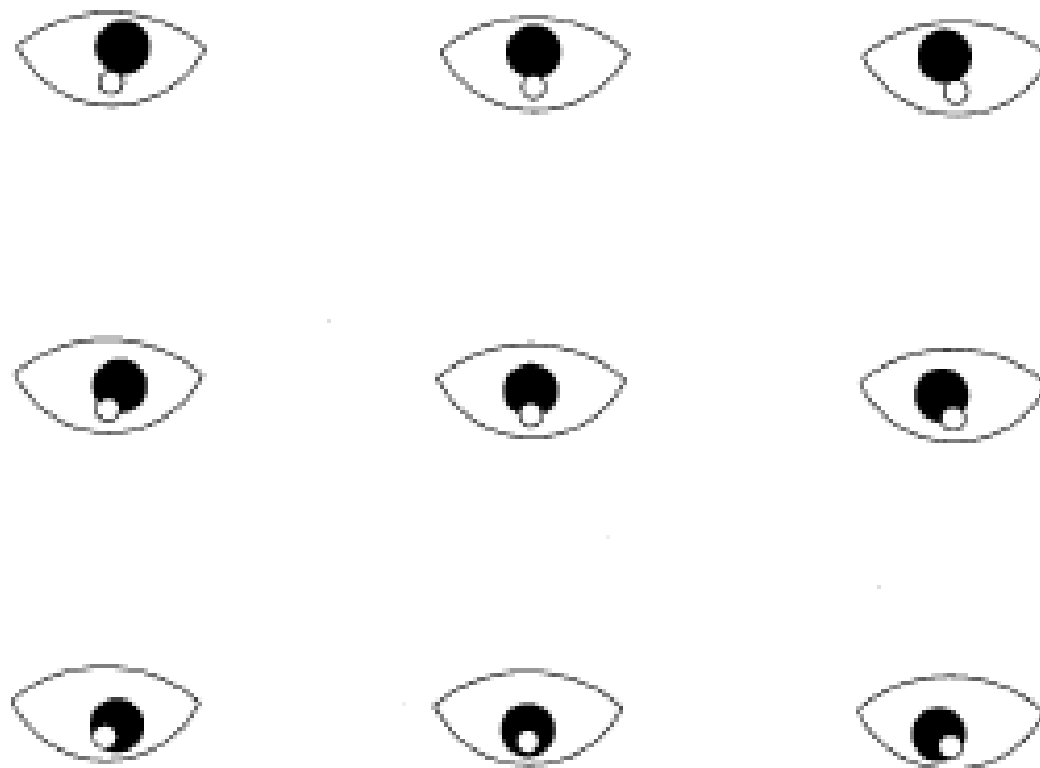


Fig. 5.8. Relative positions of pupil and first Purkinje images as seen by the eye tracker's camera.

# 出力データ

CursorX	CursorY	TimestampSec	TimestampMicrosec	XGazePoseLeftEye	YGazePoseLeftEye	XCameraPosLeftEye	YCameraPosLeftEye	DiameterPupilLeftEye	DistanceLeftEye	ValidityLeftEye	XGazePoseRightEye	YGazePoseRightEye	XCameraPosRightEye	YCameraPosRightEye	DistanceRightEye	ValidityRightEye
439	259	2724	497264	0.435135	0.345329	0.595478	0.516161	3.358761	699.4908	0	0.42253	0.330558	0.333036	0.515946	699.4908	0
437	257	2724	517292	0.424448	0.350856	0.595654	0.516696	3.372919	699.4908	0	0.430805	0.321014	0.332965	0.516627	699.4908	0
447	245	2724	537263	0.442911	0.33148	0.595972	0.517112	3.383989	699.4908	0	0.430674	0.307115	0.332959	0.517414	699.4908	0
441	265	2724	557137	0.43709	0.377656	0.59625	0.517859	3.402236	699.4908	0	0.425784	0.314475	0.333102	0.518348	699.4908	0
443	267	2724	577011	0.433068	0.371606	0.596671	0.518774	3.39292	699.4908	0	0.43386	0.323827	0.333279	0.519311	699.4908	0
448	266	2724	597010	0.441395	0.369419	0.59712	0.519566	3.391321	697.25	0	0.434071	0.324543	0.333519	0.520231	697.25	0
449	267	2724	617010	0.435297	0.370112	0.597691	0.519994	3.391568	697.25	0	0.441808	0.326148	0.333998	0.520774	697.25	0
448	265	2724	636888	0.441606	0.393969	0.59835	0.520671	3.570886	697.25	0	0.433948	0.298612	0.334392	0.521515	697.25	0
442	268	2724	656887	0.435856	0.343626	0.598934	0.520863	3.441515	697.25	0	0.428913	0.355646	0.334847	0.521763	697.25	0
445	264	2724	676761	0.434841	0.377295	0.599536	0.521005	3.405939	697.25	0	0.436234	0.312628	0.335413	0.522173	697.25	0
446	268	2724	696760	0.435253	0.380896	0.600031	0.52124	3.456161	695.5432	0	0.435867	0.318311	0.335796	0.522403	695.5432	0
449	251	2724	716638	0.441118	0.334881	0.600565	0.521131	3.425452	695.5432	0	0.436513	0.31954	0.336234	0.522418	695.5432	0
504	368	2724	736635	0.48824	0.478323	0.599981	0.522337	3.44506	695.5432	0	0.496447	0.480418	0.336262	0.523599	695.5432	0
504	388	2724	756511	0.496469	0.518527	0.600444	0.522911	3.496779	695.5432	0	0.489076	0.493035	0.33674	0.524449	695.5432	0
494	398	2724	776510	0.487408	0.525466	0.600957	0.52302	3.458731	695.5432	0	0.478764	0.511485	0.336942	0.524513	695.5432	0
491	403	2724	796388	0.489627	0.528226	0.60145	0.522856	3.493154	698.1235	0	0.470013	0.5232	0.3373	0.524541	698.1235	0
498	382	2724	816385	0.485933	0.520675	0.601957	0.522489	3.488951	698.1235	0	0.486759	0.4752	0.337661	0.524209	698.1235	0
504	388	2724	836262	0.492439	0.496231	0.602389	0.521996	3.461466	698.1235	0	0.492013	0.514198	0.33798	0.523722	698.1235	0
506	379	2724	856136	0.489516	0.520764	0.602771	0.521656	3.482087	698.1235	0	0.499188	0.468101	0.33835	0.523554	698.1235	0
497	375	2724	876136	0.497469	0.501177	0.603248	0.52152	3.464012	698.1235	0	0.473665	0.477544	0.338554	0.523411	698.1235	0
499	382	2724	896137	0.497907	0.510201	0.6036	0.521443	3.472235	698.2267	0	0.477449	0.487002	0.338894	0.523437	698.2267	0
495	387	2724	916009	0.491131	0.489497	0.604047	0.521808	3.437062	698.2267	0	0.477546	0.519212	0.339197	0.523667	698.2267	0
501	364	2724	935888	0.491131	0.47281	0.604442	0.522482	3.454996	698.2267	0	0.489113	0.477158	0.339655	0.524362	698.2267	0
499	408	2724	955889	0.492216	0.540081	0.604866	0.522637	3.531069	698.2267	0	0.483124	0.523654	0.339851	0.524537	698.2267	0
499	385	2724	975886	0.480341	0.516173	0.605187	0.522644	3.470804	698.2267	0	0.496166	0.488334	0.340205	0.524543	698.2267	0

# 読みの眼球運動



# 停留 (Fixation)

## サッカード (Saccade)

そこで小林先生は、ほかの生徒と相談して、手の手術をするお金を集めてく

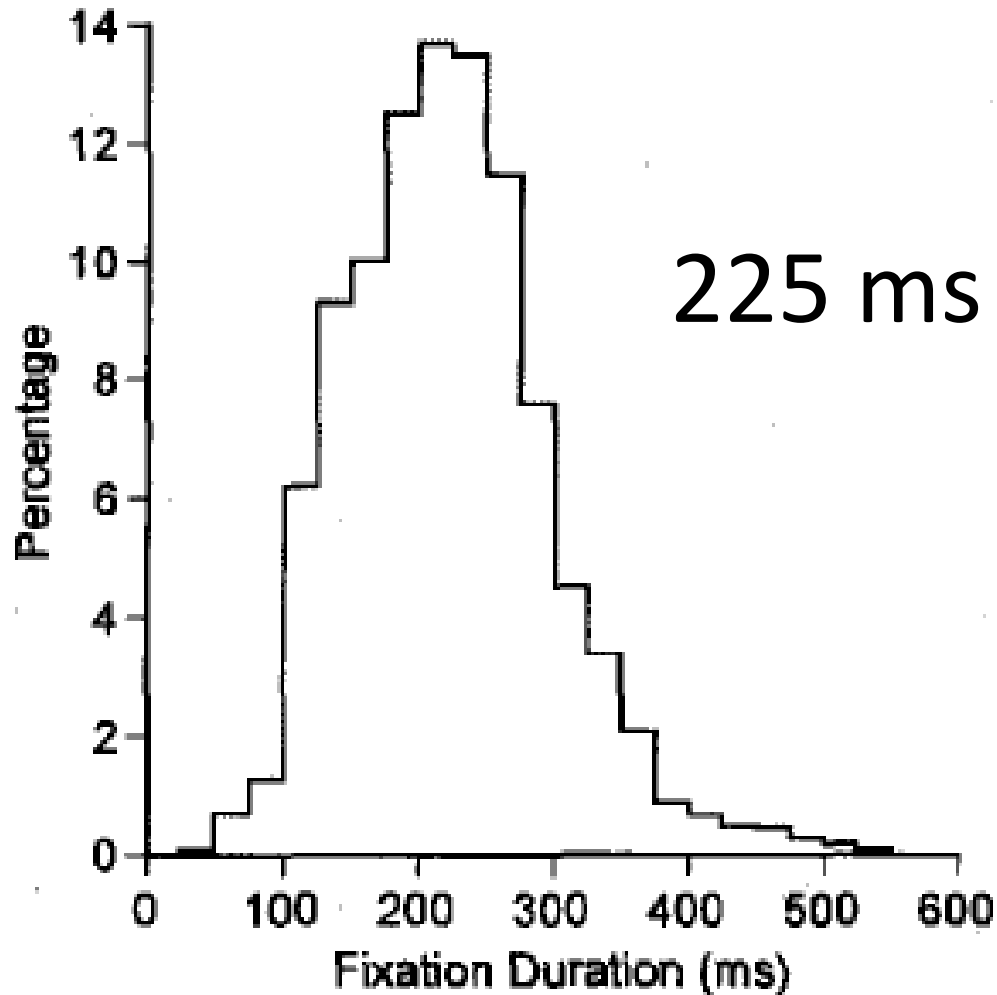
ねました。先生のおかげで、手術を受けることができた清作の手は元通り指

が動くようになりしました。病院から戻ってきた清作は、大喜びで自分の手を

先生達に見せました。「先生、ありがとうございました。何とお礼を言った

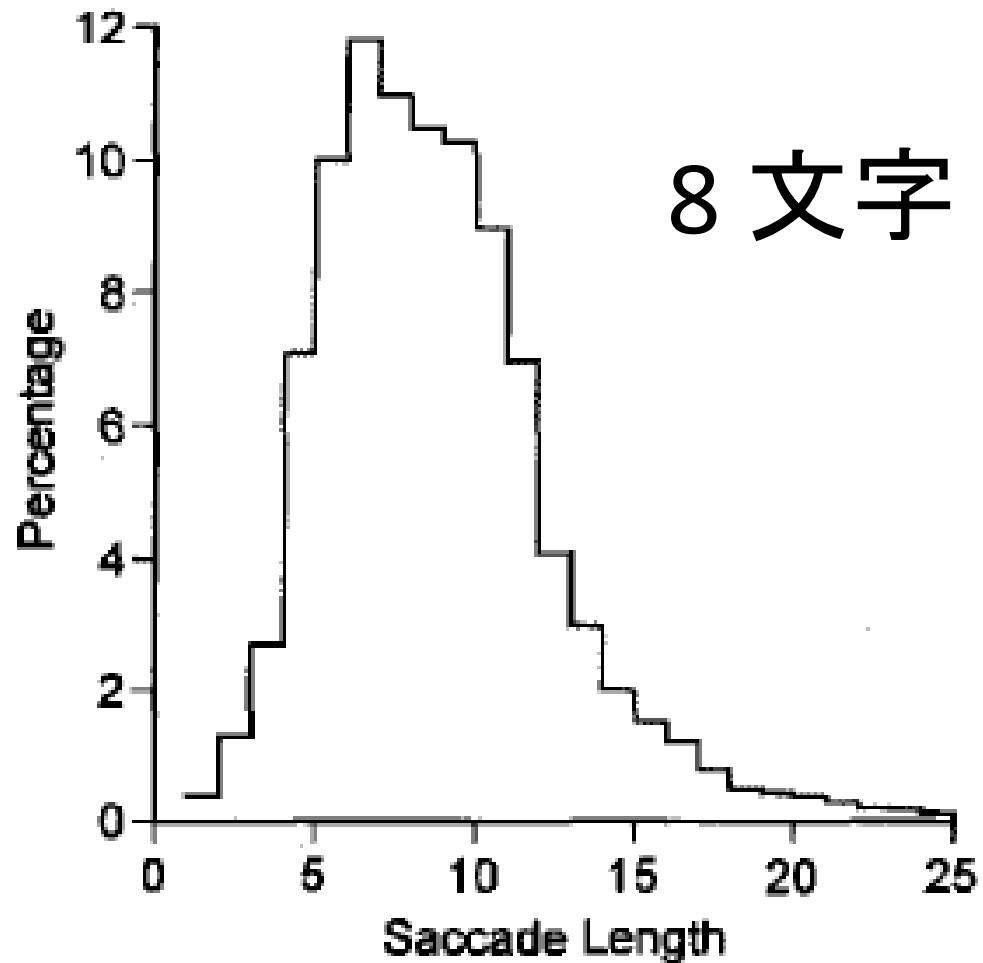
らよいか・・・。」それっきり、何も言えず、あとからあとから涙がこぼ

# 停留時間の分布



Rayner (1998)

# サッカード距離の分布



Rayner (1998)

具体例を考えてみよう

Todai is known for the excellence of its faculty and str

中心窩にある文字・単語の認識



停留する時間に影響する

Today is known for the excellence of its faculty and st

周辺視野にある文字・単語の認識



停留する位置に影響する

Today is known for the excellence of its faculty and s





サッカーの実行



次の文字・単語の認識が始まる

Today is known for the excellence of its faculty and

# 心眼仮説 (Eye-Mind Hypothesis)

Just & Carpenter (1980)

処理負荷の増大 ⇒ 停留時間の増加

# 眼球運動測定を用いた先行研究

単語の特性（頻度・予測可能性）

文構造の複雑さ

文構造の曖昧性

# 単語の頻度効果の検討

## 疑問

単語の出現頻度によって  
文理解の処理負荷は高まるか？

# 単語の頻度効果の検討

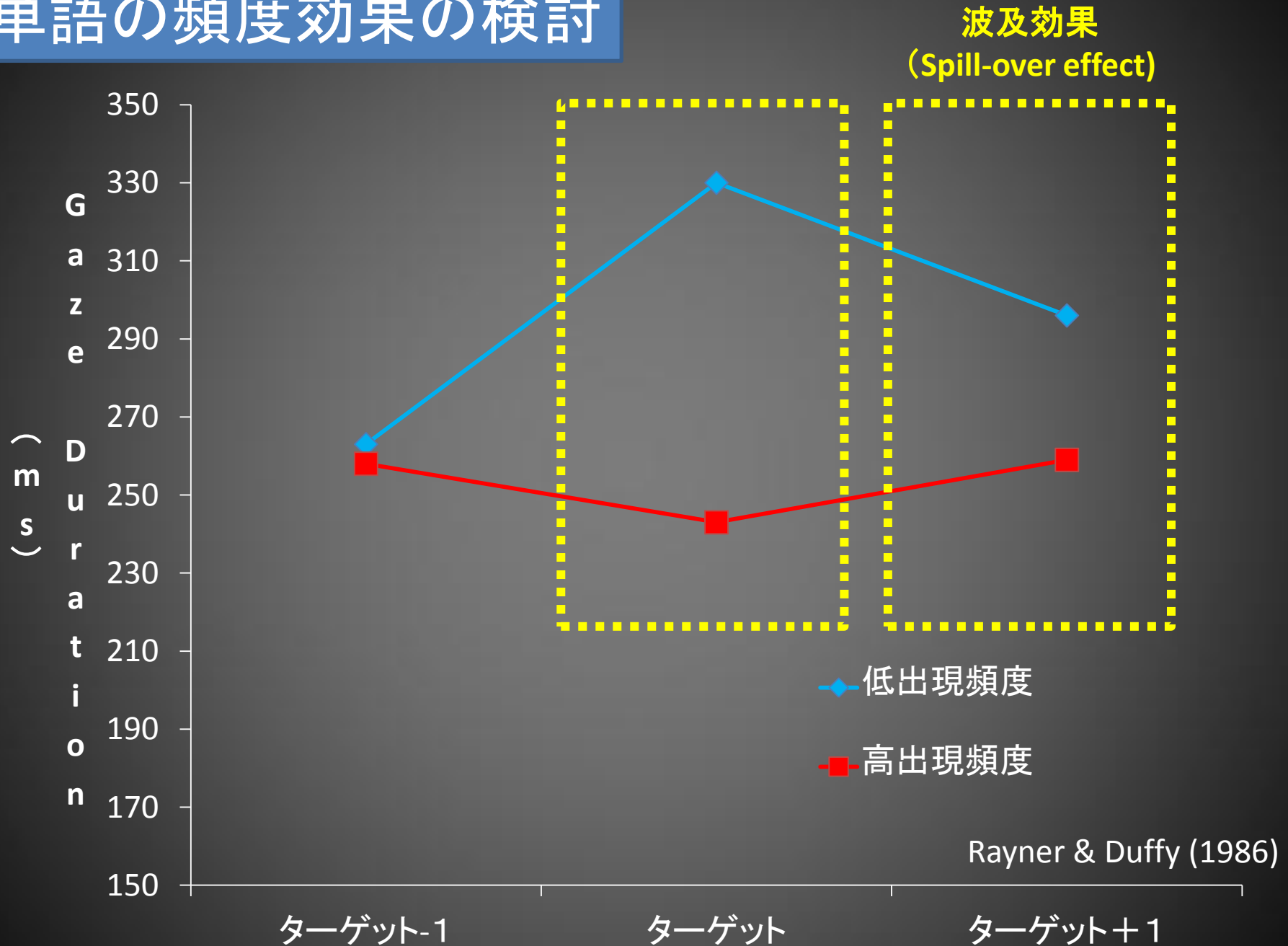
低出現頻度条件

The slow **waltz** captured her attention.  
The exhausted **steward** left the plane.

高出現頻度条件

The slow **music** captured her attention.  
The exhausted **student** left the plane.

# 単語の頻度効果の検討





# 単語の予測可能性の検討

## 疑問

先行文脈から予測可能な単語の処理は、  
負荷が軽減されるだろうか？

# 単語の予測可能性の検討

予測可能性 高 vs. 中

The woman took the warm cake out of the \_\_\_\_\_ so that she could frost it.

oven (.98); stove (.23)

予測可能性 中 vs. 低

Calm seas are always good for \_\_\_\_\_ on hot summer days.

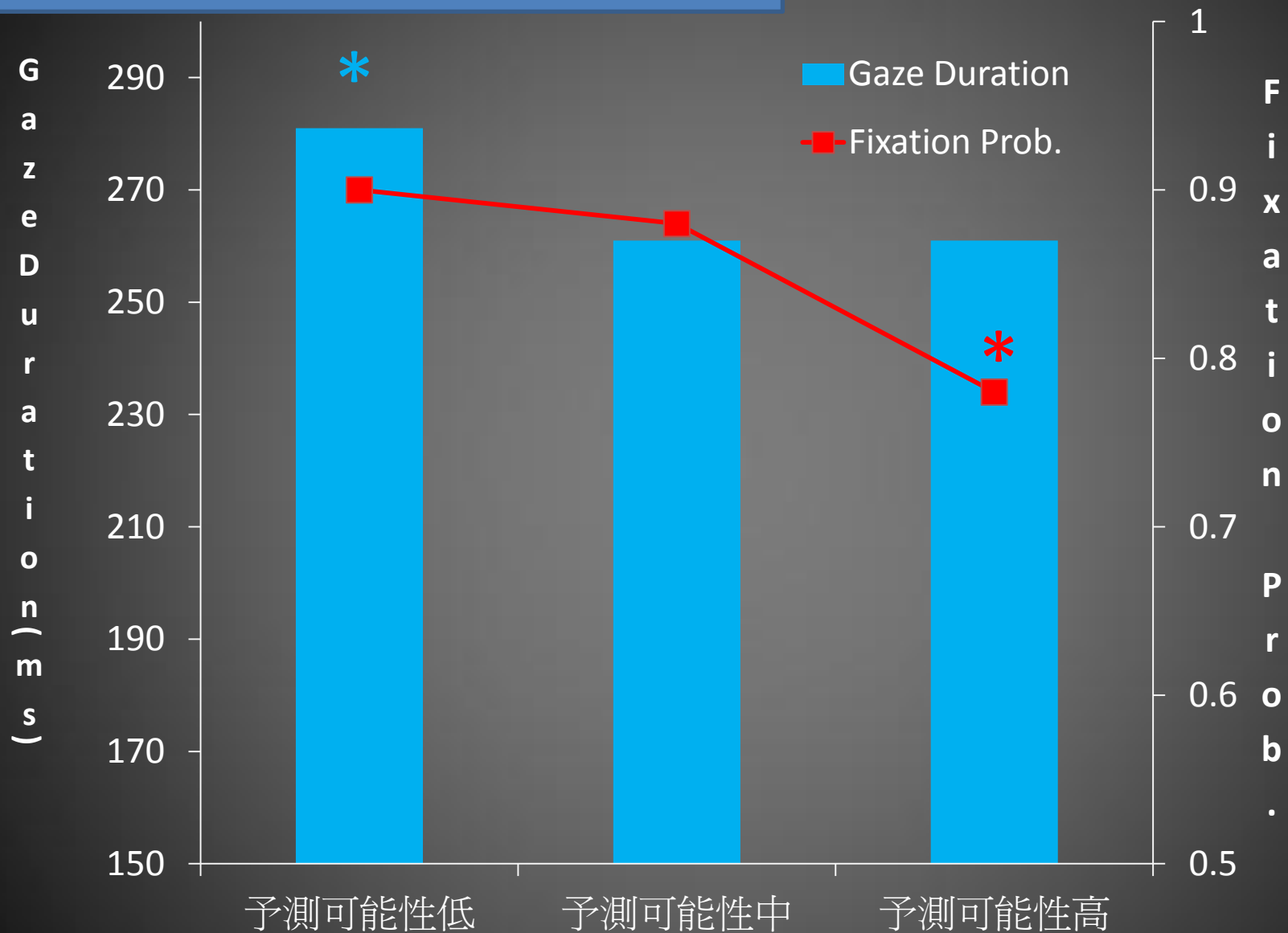
swimming (.65); floating (.05)

予測可能性 高 vs. 低

The postman opened the package to inspect its \_\_\_\_\_ before sending it.

Contents (1.00); packing (.05)

# 単語の予測可能性の検討



# 文構造の複雑さの検討

## 疑問

文を構成する各単語が提示された時点で、  
文構造を決める処理がなされるのか？

# 文構造の複雑さの検討

主語関係節文

The businessman **that married the secretary** invited the bookkeeper to the party.

目的語関係節文

The businessman **that the secretary married** invited the bookkeeper to the party.

# 文構造の複雑さの検討

目的語関係節文は、主語関係節文と  
比較すると

いろいろな理由で処理負荷が高い。



# 文構造の複雑さの検討

理由1: 項の属性の重なり

主語関係節文: businessman 主節**主語** & 関係節**主語**

主語関係節文: businessman 主節**主語** & 関係節**目的語**

主語関係節文

The businessman that **married** the secretary invited the bookkeeper to the party.

目的語関係節文

The businessman that **the secretary** married invited the bookkeeper to the party.

# 文構造の複雑さの検討

理由2: 名詞に割り当てられる意味役割の重なり

主語関係節文: businessman 主節動詞の**動作主** & 関係節動詞の**動作主**

主語関係節文: businessman 主節動詞の**動作主** & 関係節動詞の**被動作主**

主語関係節文

The businessman that **married** the secretary invited the bookkeeper to the party.

目的語関係節文

The businessman that the secretary **married** invited the bookkeeper to the party.

# 文構造の複雑さの検討

理由3: 記憶への負荷の違い

主語関係節文: businessman 関係節動詞の出現が**早い**

主語関係節文: businessman 関係節動詞の出現が**遅い**

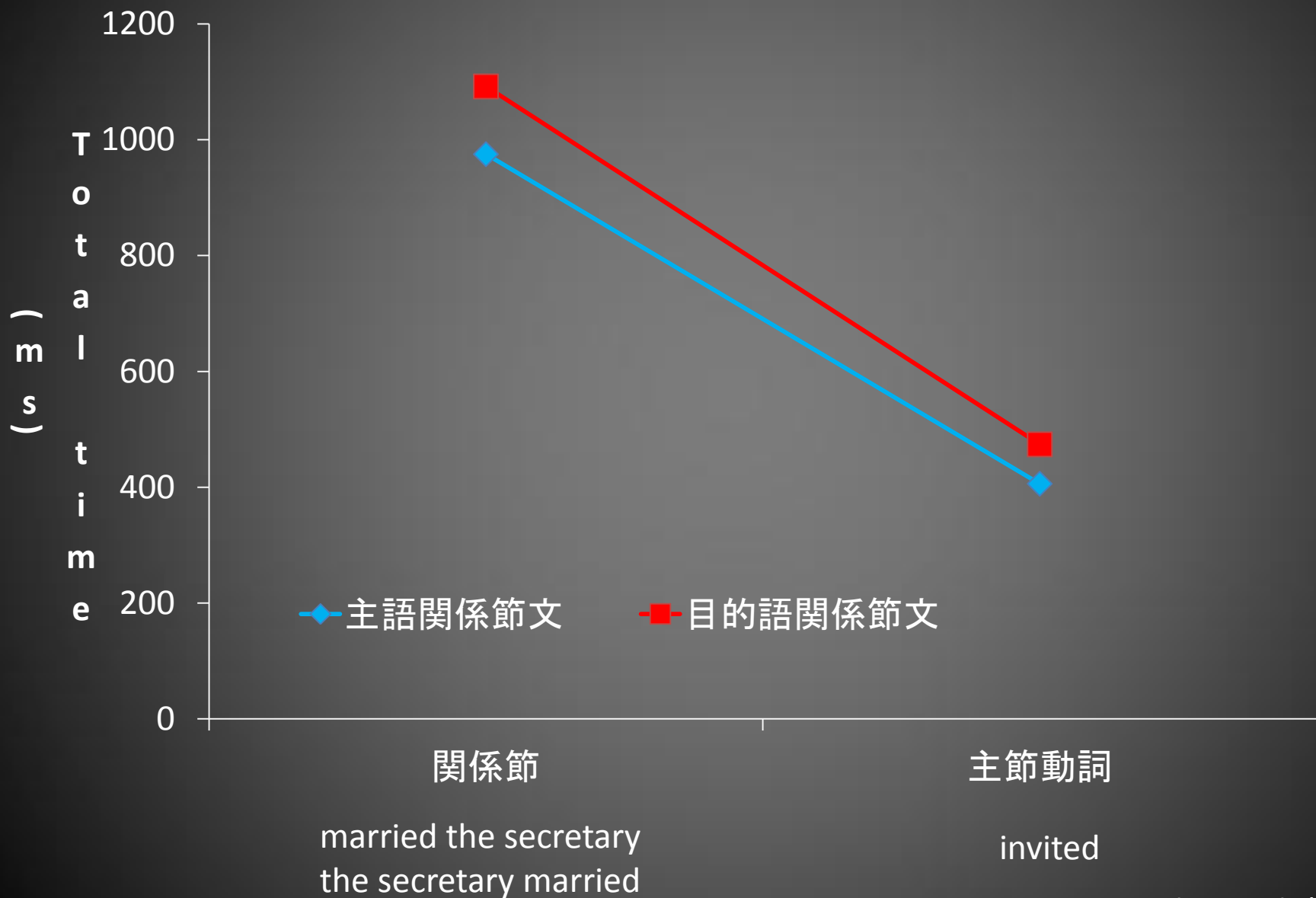
主語関係節文

The businessman that **married** the secretary invited the bookkeeper to the party.

目的語関係節文

The businessman that the secretary **married** invited the bookkeeper to the party.

# 文構造の複雑さの検討



# 文構造の曖昧性の検討

## 疑問

文の構造が一時的に曖昧になる場合、読み手はどのように解釈しているのか？

直列処理 (Serial processing) vs. 並列処理 (Parallel processing)

# 文構造の曖昧性の検討

Late closure 条件

Since Jay always jogs a mile and a half this seems like a short distance to him.

Early closure 条件

Since Jay always jogs a mile and a half seems like a short distance to him.

後の閉鎖原則 (Late closure) によると、  
Late closure 解釈が先好される

# 文構造の曖昧性の検討

Late closure 条件

Since Jay always jogs a mile and a half **this** seems like a short distance to him.

Early closure 条件

Since Jay always jogs a mile and a half **seems** like a short distance to him.

Late closure 解釈のみを保持していると、  
Early closure 条件で矛盾が生じる。  
(ガーデンパス効果)

二つの解釈を保持し続けられるならば、  
解釈が確定したところで一つに決めればよい。

# 文構造の曖昧性の検討





# 話し言葉を理解しているときの 眼球運動

これまでの話では、

眼球運動は視覚提示された文字を見るときに利用された。

近年、話し言葉の理解も眼球運動で  
調べることが(海外では)標準的になりつつある。

はじまりは...

The control of eye fixation by the meaning of spoken language: A new methodology for the real-time investigation of speech perception, memory, and language processing

Roger M. Cooper, (1974).Cognitive Psychology

While on a photographic safari In Africa,

... wondering how he gotten away from camp,

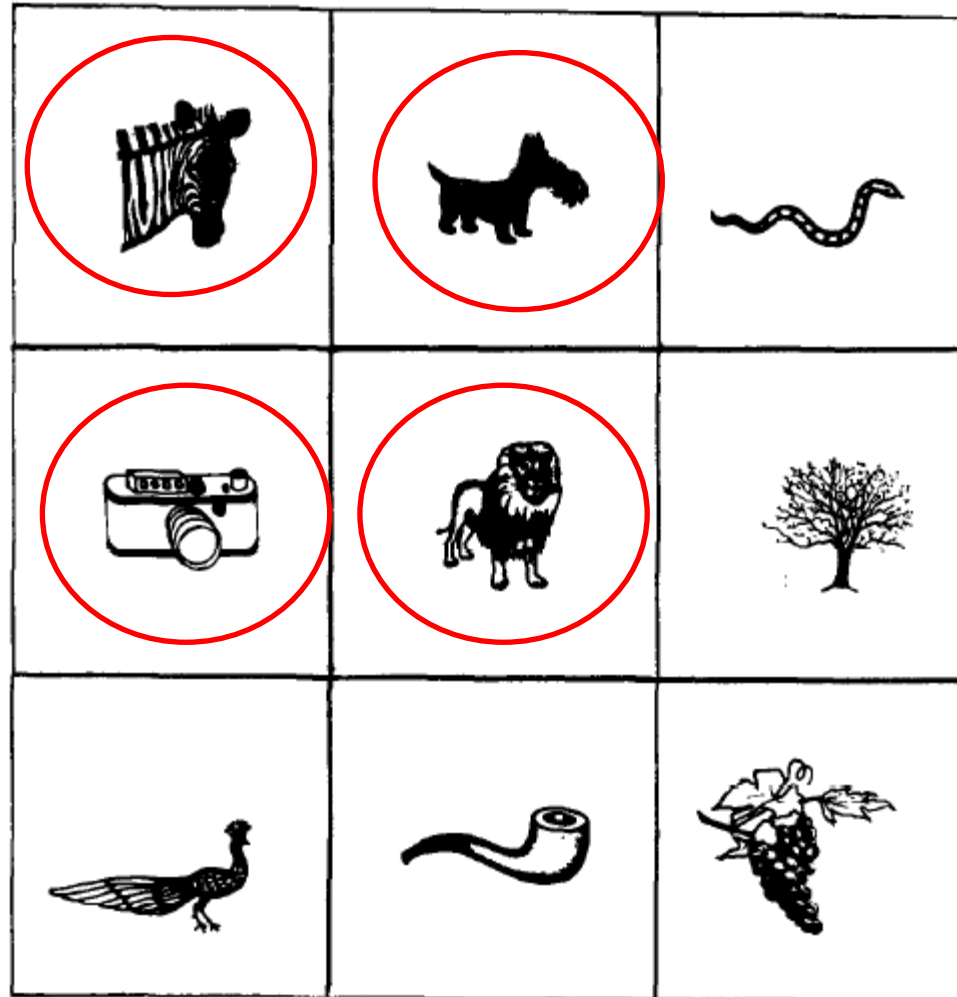


FIG. 1. The slide accompanying Story 3.

研究方法として注目されたきっかけは...

## Integration of Visual and Linguistic Information in Spoken Language Comprehension

Michael K. Tanenhaus, Michael J. Spivey-Knowlton, Kathleen M. Eberhard, Julie C. Sedivy (1995). **Science**

以降、視覚世界パラダイム (Visual World Paradigm) と呼ばれるようになる。

# 疑問

実世界の視覚文脈は、文構造に曖昧性のある文の処理に影響を与えるか？

ガーデンパス理論 vs. 制約依存モデル  
(Garden-path theory) (Constraint-based model)

# 課題

聴覚提示された指示(文)を聞いて、その通りに行動する。  
(Act out課題)

Put the apple **on the napkin** in the box.



曖昧条件

非曖昧条件

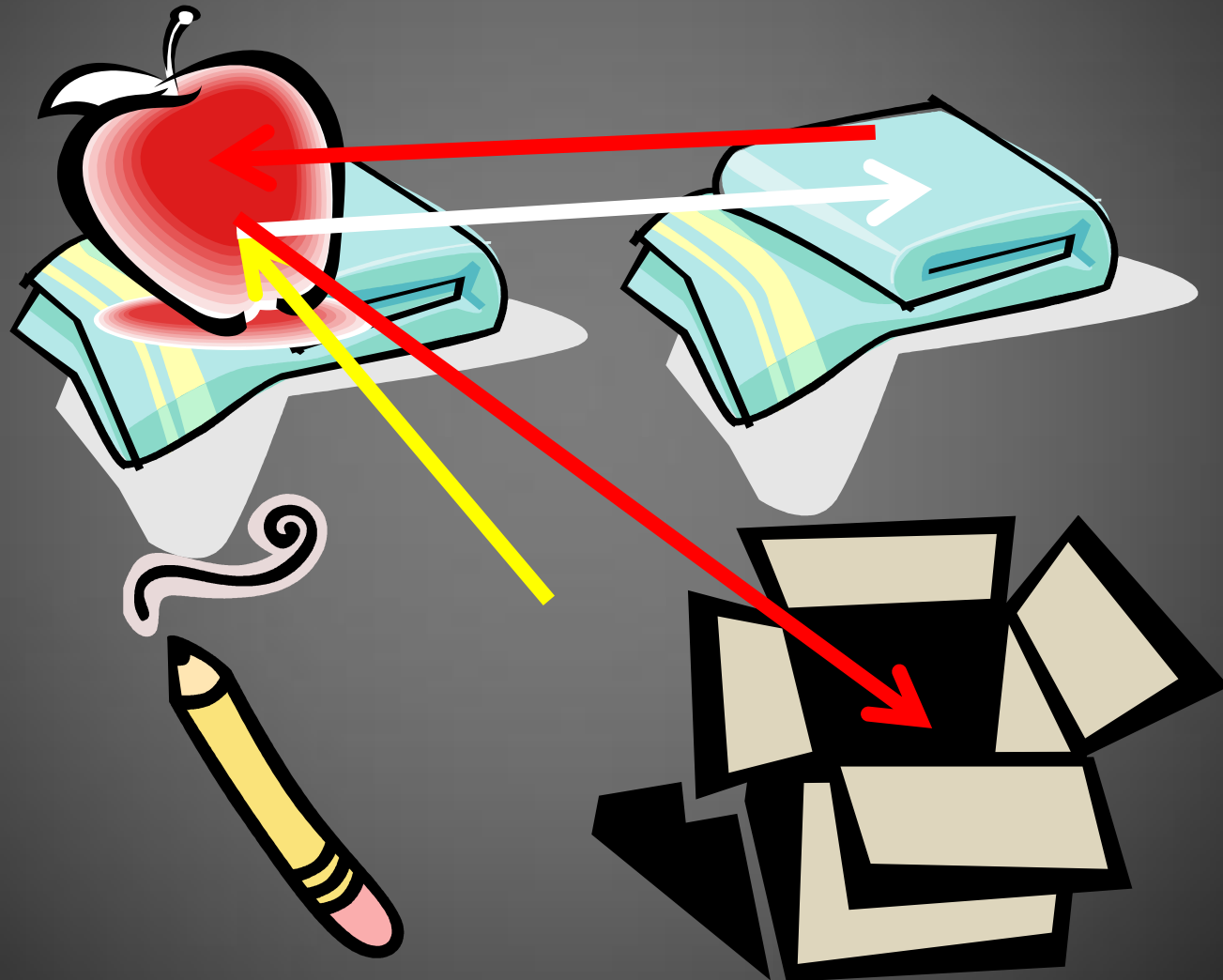
Put the apple **that's** on the napkin in the box.





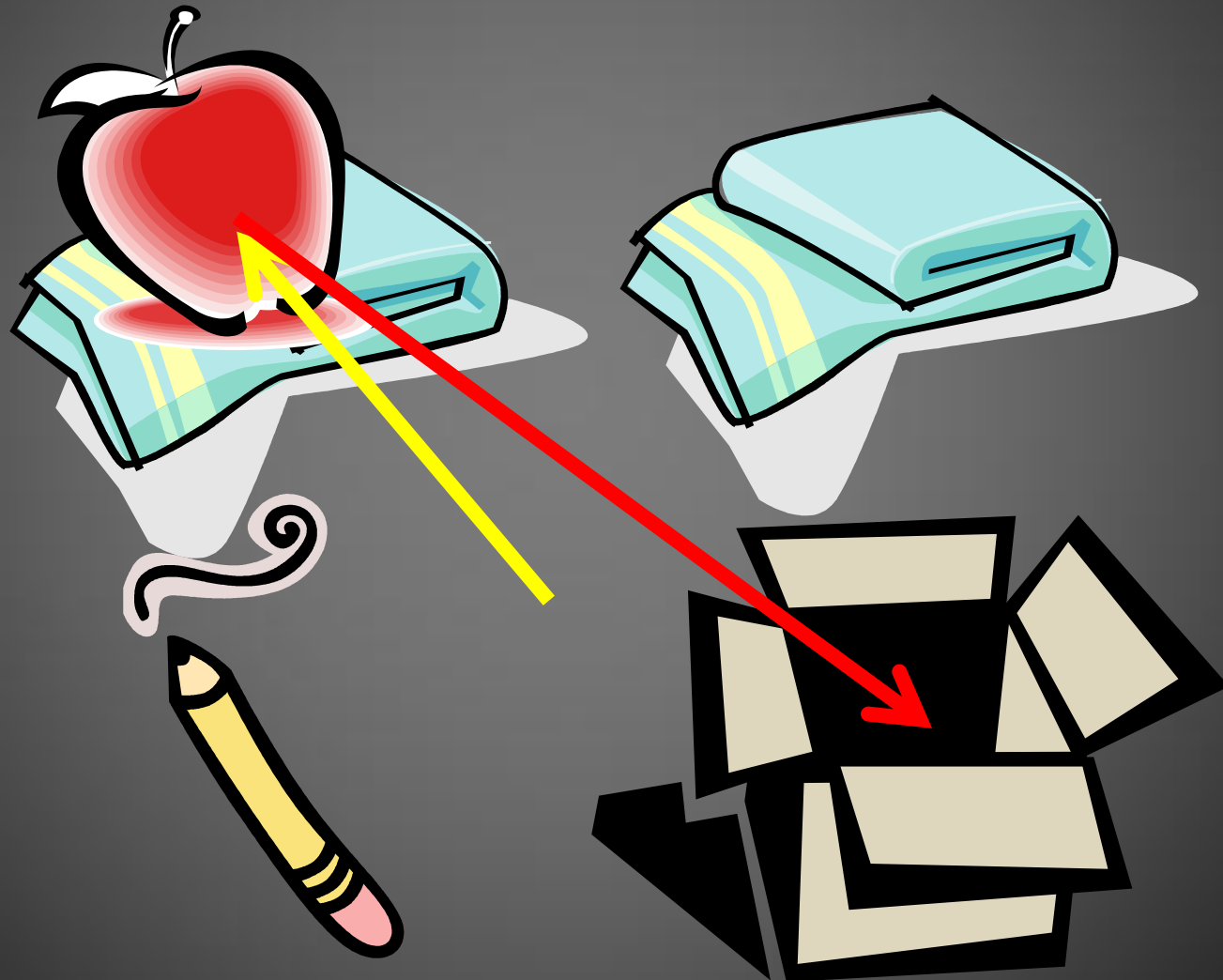
# 視覚文脈その1

Put the **apple** on the napkin **in the box**.



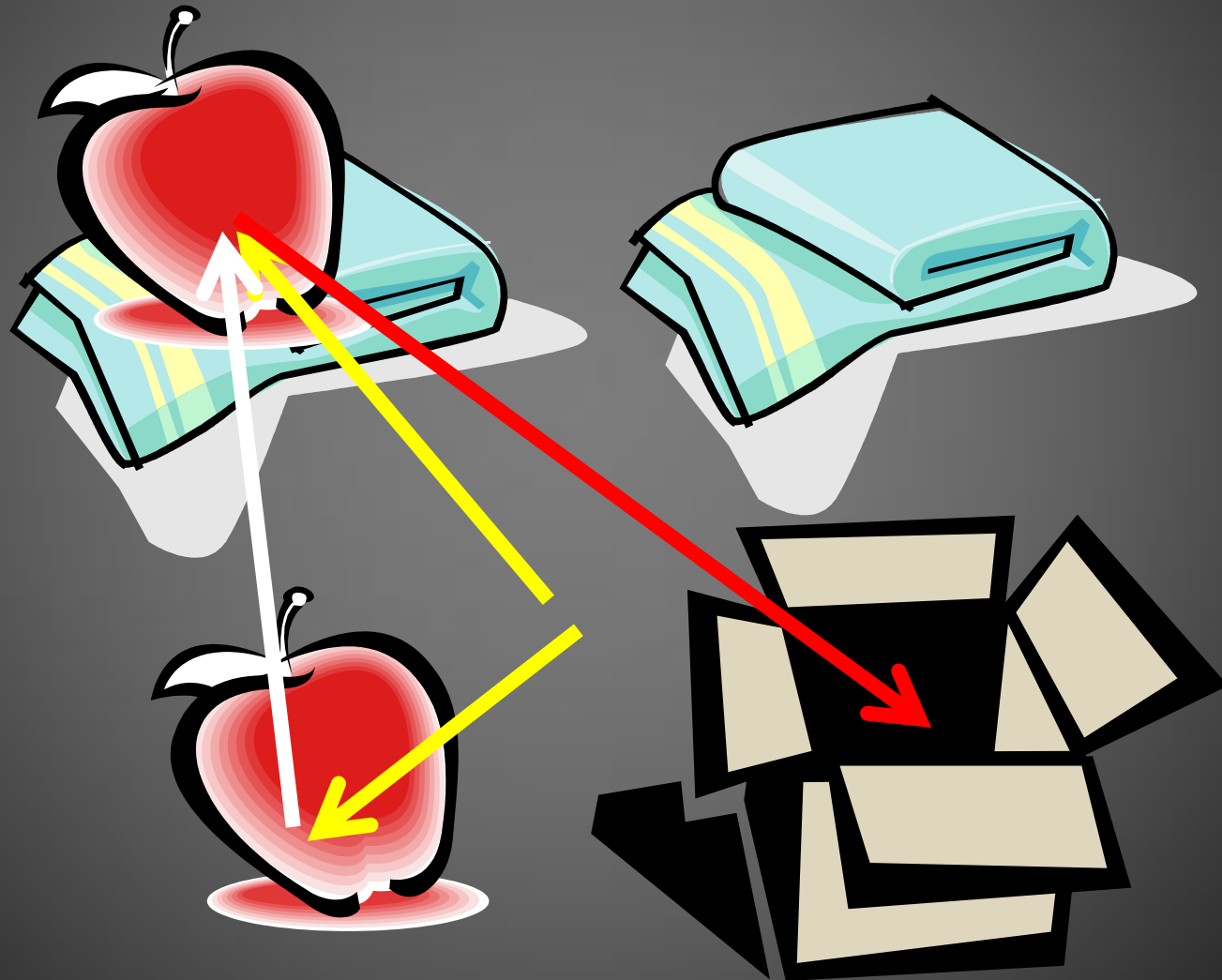
# 視覚文脈その1

Put the apple that's on the napkin in the box.



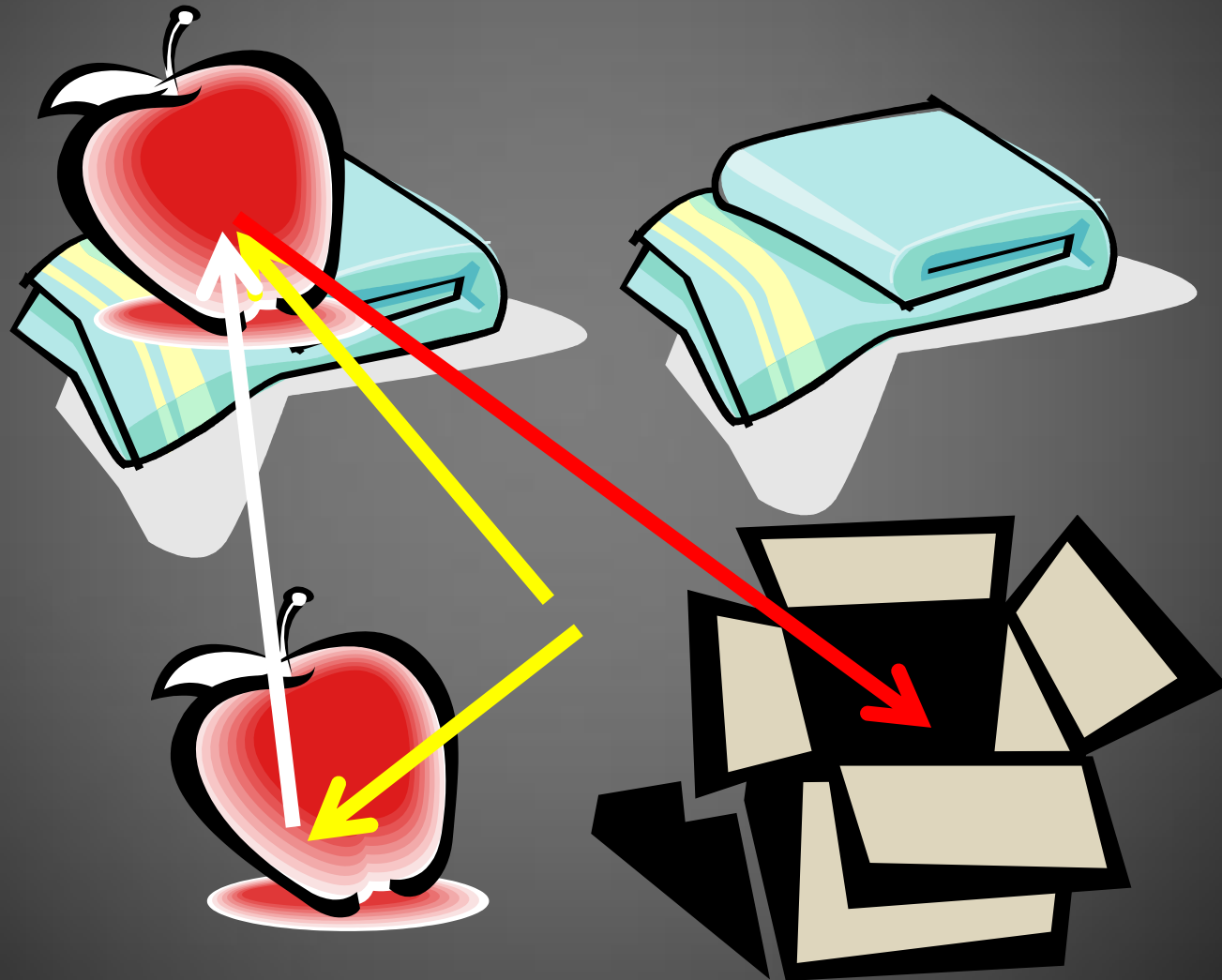
## 視覚文脈その2

Put the apple on the napkin in the box.



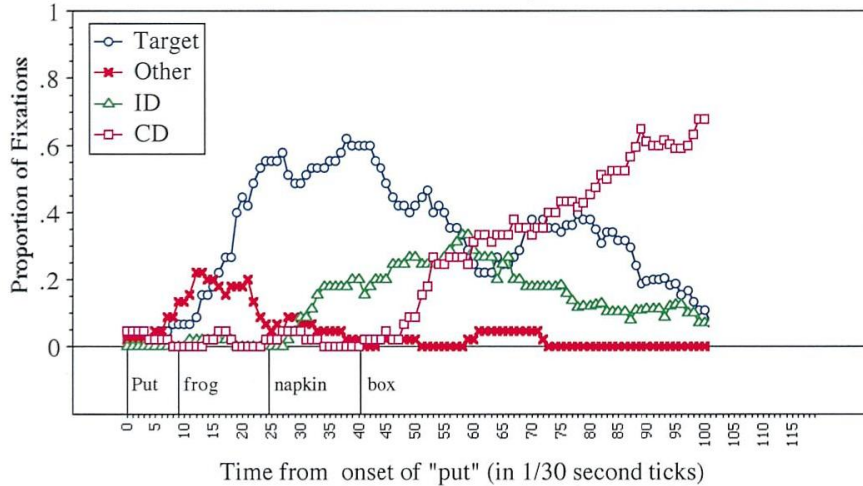
## 視覚文脈その2

Put the **apple** that's on the napkin **in the box.**

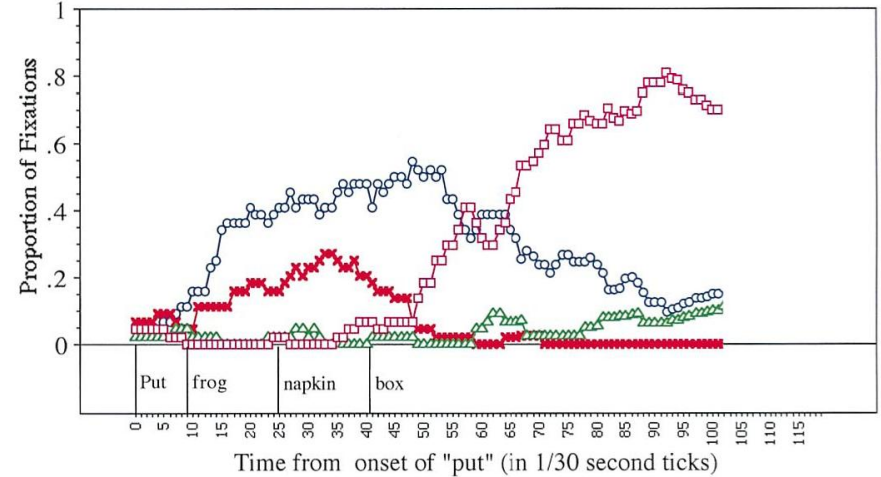


# Trueswell et al (1999) による追試

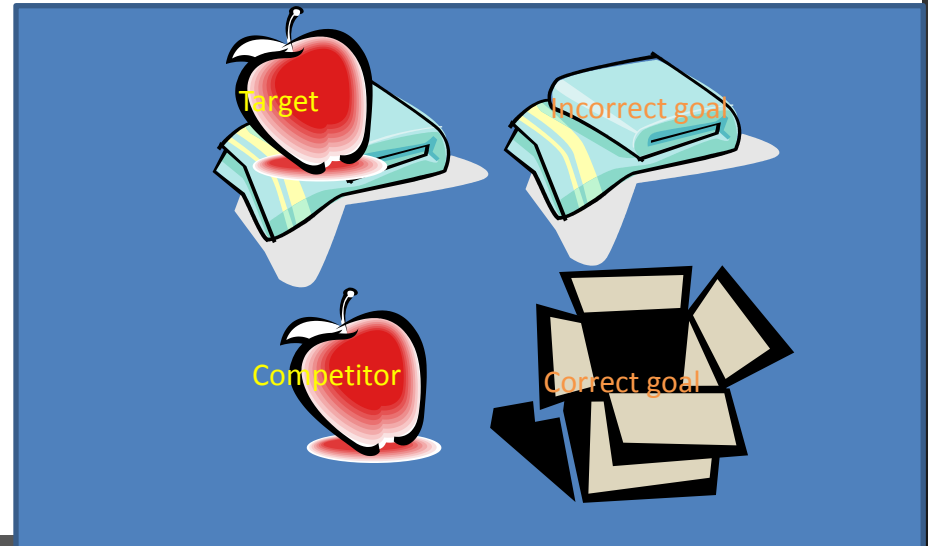
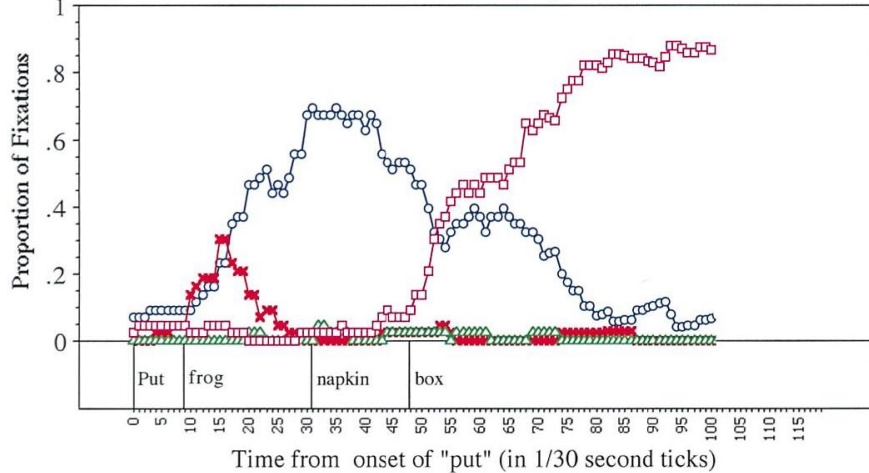
### 1-Referent Ambiguous



### 2-Referent Ambiguous



### 1-Referent Unambiguous



文の解釈に対応するオブジェクトがあれば、  
聞き手の**予測した**解釈もわかるかもしれない。

動詞（あいさつする）

ウェイトレスが客に

直接目的語（料理を）＋動詞

動詞（見る）

ウェイトレスが客を

間接目的語（席に）＋動詞

ウェイトレスが客に 楽しげに ハンバーガーを運ぶ。

ウェイトレスが客を 楽しげに からかう。

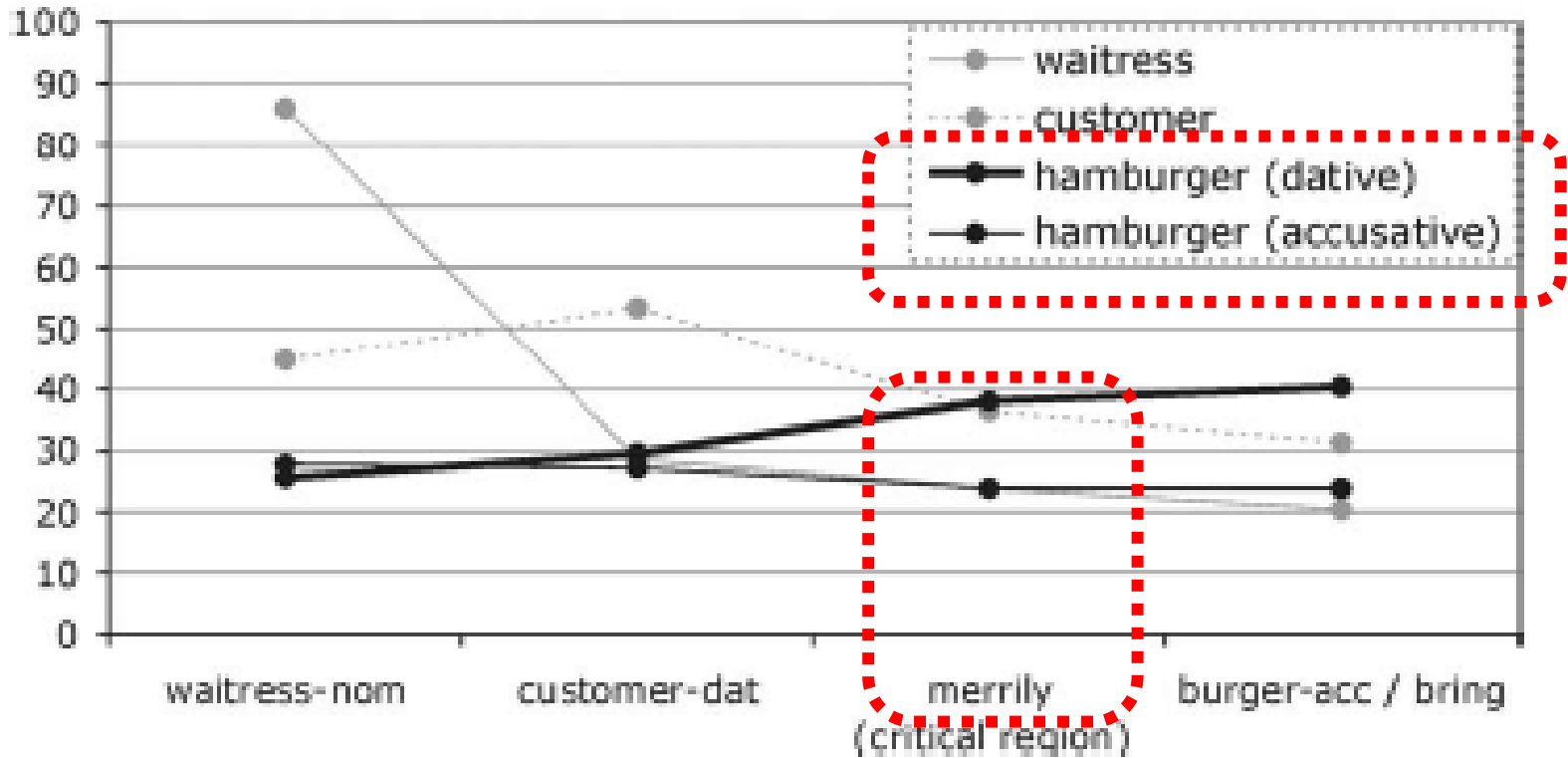


主語



目的語

% trials with looks to target



# 眼球運動測定の特長と限界

## 利点1

文理解中の**処理負荷が高まる**  
**タイミング**を敏感に知ることができる。

処理負荷の増大 = 停留時間の上昇

## 利点2

文の意味が**確定する前**段階の  
**解釈**を推論できる。

注視されたオブジェクト = 解釈

### 利点3

統合過程だけでなく**予測的処理**を捉えられる。

予測と異なる単語の出現による**停留時間の増加**

提示されていない情報を用いた解釈に  
対応した**注視点の変化**

## 利点4

実世界の文脈が文理解に  
及ぼす影響を捉えられる。

視覚文脈の違いが注視点に及ぼす影響

## 限界1

どんなタイプの処理であっても  
その負荷が増大すると  
停留時間の増加という形で現れる。

低頻度

低親密度

文構造の複雑さ

多義語

文構造の曖昧性



停留時間の増加



## 限界2

視覚世界パラダイムでは  
解釈の無限の可能性から  
あらかじめいくつかだけを残して見せている。

“Closed-set issues” (Tanenhaus & Trueswell, 2001)

## 限界3

心理言語学研究では眼球運動の特性に関して考慮しきれていない要素が多い。

視覚刺激の大きさ

視覚文脈全体の複雑さ

眼球運動のコントロール

"walk" (which is read by a man or woman who implicitly knows a large number of prefixes, roots, and suffixes and effortlessly associates them with both pronunciation and meaning.

### The Orthographic Stage

When a child attains a certain level of expertise, he reaches Uta Frith's third, orthographic stage. Progressively, a vast lexicon of visual units of various sizes settles in. It includes a rich body of information on the frequency of these units and their neighbors. At this stage, reading time is no longer determined primarily by word length or by grapheme complexity. Rather, it becomes increasingly influenced by how often a word has been encountered: rare words are read more slowly than frequent ones. The number of neighbors also emerges as a major factor. A word like "vain," which is surrounded by high-frequency neighbors such as "rain" or "pain," is read more slowly. All of these effects reflect a gradual establishment of the second reading pathway, the lexical route, which progressively supplements length-of-sound decoding.

英語と日本語では読み方が違うの？

Probably the orthographic stage is the last stage of the orthographic process that word length gradually ceases to play a role. At the phonological stage, children slowly decipher words sequentially, one letter at a time. As a result, reading time increases with the number of letters in a word.<sup>232</sup> At the orthographic stage, as readers become increasingly fluent, this length effect slowly vanishes. It is essentially absent in expert adults—we all read words using a parallel procedure that takes in all letters at once, at least in short words (eight letters or fewer).

In summary, growing parallelism and efficiency are characteristic of the orthographic stage. An increasingly compact word code appears that represents the entire letter string in a single snapshot. This neuronal architecture, organized like a hierarchical tree, can now be effortlessly transmitted to brain regions that compute meaning and pronunciation.

### The Brain of a Young Reader

Does each unique to The r young predic treat her st

「だから死体の身元が判明してから確認できたことだ。被害者が借りていたレンタルルームから採取された指紋と一致したという意味さ。おっと、おまえのいいたいことはわかるぞ。それだけでは、レンタルルームの借り主が自転車を使ったことは証明できても、死体本人とはかぎらないというんだろ。もしかしたらレンタルルームの借り主が犯人で、そいつが自転車を使ったのかもしれないからな。ところがどっこい、ちゃんと部屋に落ちていた毛髪も確認した。死体と合致したよ。ついでにいうとDNA鑑定も行われている」

草薙の早口に湯川は苦笑を浮かべた。

「今時、警察が身元確認でミスをするとは思っちゃいないよ。それより、自転車を使ったというのは興味深いな。被害者は篠崎駅で自転車を置いていたのか」

「いや、それがさ——」

草薙は盗難自転車にまつわるエピソードを湯川に話した。

湯川は金縁眼鏡の奥の目を見開いた。

「すると被害者は現場に行くのに、わざわざ駅で自転車を盗んだというのか。バスやタクシーを使わずに」

「そういうことになる。調べたところでは、被害者は失業中で、ろくに金を持ってなかった。バス代も惜しかったんだろうな」

後を続

# 文字の種類の違い

英語

Alphabet


日本語

漢字; ひらがな; カタカナ

# 表記方法の違い


英語

A sentence contains spaces between words.

A diagram illustrating the use of spaces in English. The sentence "A sentence contains spaces between words." is written in white text. Below the text, yellow brackets are drawn under each word and the spaces between them, highlighting the presence of spaces between individual words.

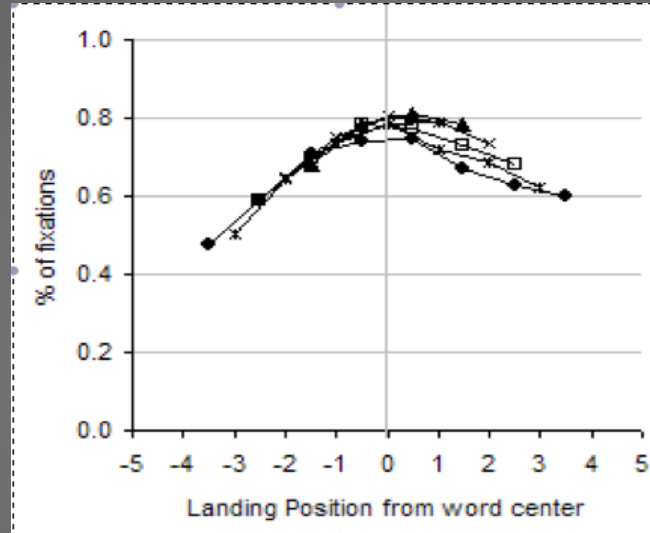
日本語

基本的に空白は使いません。

A diagram illustrating the use of spaces in Japanese. The sentence "基本的に空白は使いません。" is written in white text. Below the text, yellow brackets are drawn under each character, showing that there are no spaces between characters in Japanese.

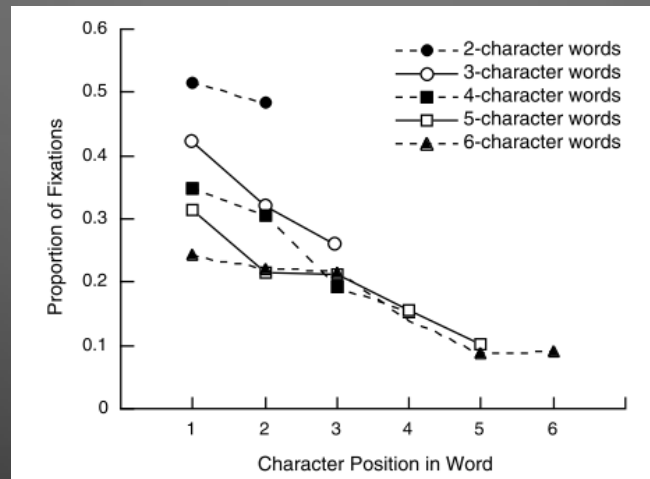
# 結果：停留位置の違い

英語



Feng (2009)

日本語



Kajii et al. (2001)

# なぜ日本語の文章は停留位置が 単語の先頭に偏るの？

1. 漢字はひらがなに比べて空間的な密度が高い。
2. 内容語の先頭は漢字である確率が高い。

周辺視野で密度の高い所へ停留すると  
結果的に単語の先頭になることが多い。



# どの位置で効果が出現するのか？

前の単語

ターゲット単語

次の単語

Parafoveal  
-on-foveal  
効果

心眼仮説に一致

波及効果



文中のどの位置でどのような処理が行われるのかを  
理論・仮説に基づいてきちんと予測する。

検討したい要因以外の要因からの影響を最小にする。

文の解釈に一対一対応する視覚文脈を設定する。

# 本講義の課題

Chambers, C.G., Tanenhaus, M.K & Magnuson, J.S. (2004). Action-based affordances and syntactic ambiguity resolution. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 30, 687-696.

指定された論文を読んで、

1. 研究内容の要約を行う。  
(要旨の日本語訳ではない)
2. どのような点において眼球運動測定がこの研究にとって重要かを考える。