

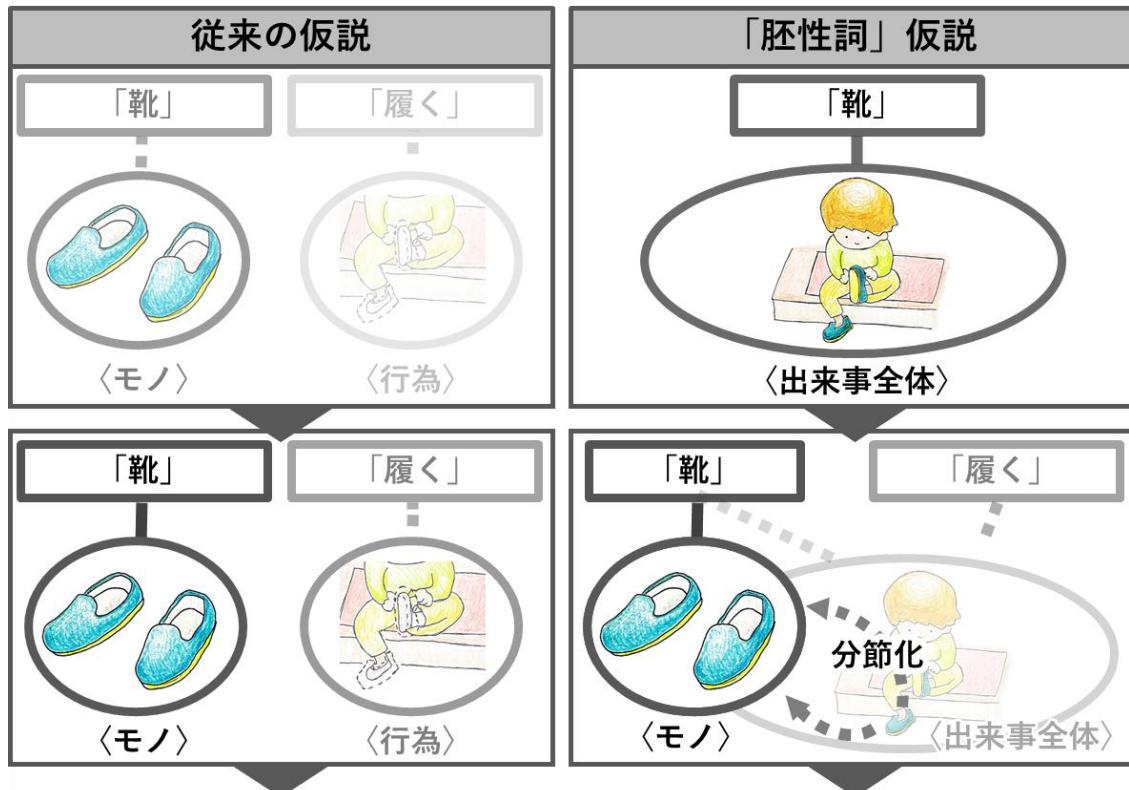
変分オートエンコーダーによる乳幼児語彙発達の解析

京大 阪上雅昭
masaakisakagami@gmail.com

胚性詞仮説

H.Hagihara, M. Sakagami Journal of Experimental Child Psychology 190 104710 2020

H.Hagihara, H.Yamaomoto, Y.Moriguchi, M.Sakagami, Cognition 226 105177 (2022)



ダイナミックシステムアプローチ

E.テーレン, L.スミス
発達へのダイナミックシステム・アプローチ 新曜社

アトラクター（散逸構造）の形成と分岐という文脈で
人の発達を記述する

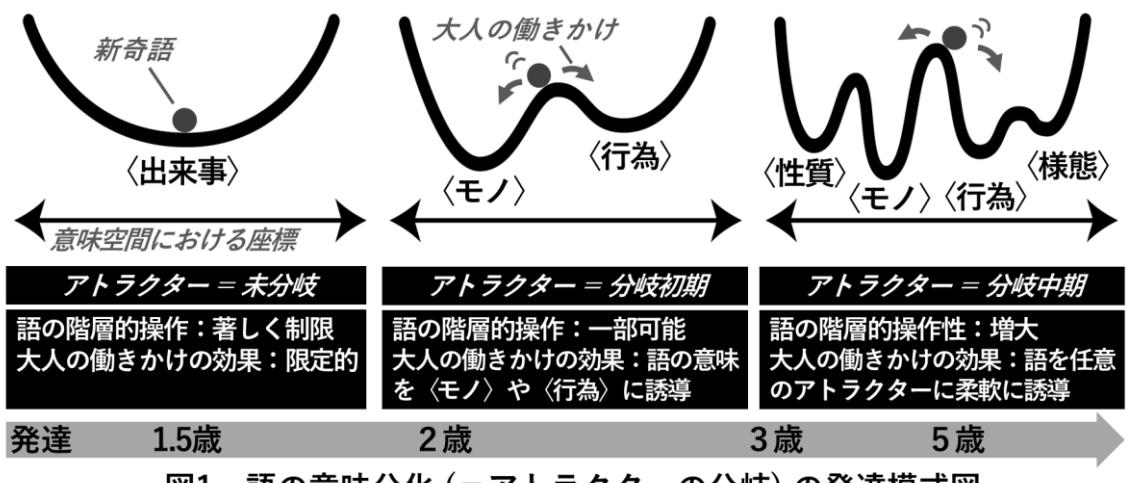


図1 語の意味分化 (=アトラクターの分岐) の発達模式図

自己紹介

1985 大阪大学理学研究科物理学専攻修了

1989 福井大学教育学部 助教授

1996 京都大学人間・環境学研究科 准教授

2005 同 教授

2022 同 退職（名誉教授）



主な研究分野

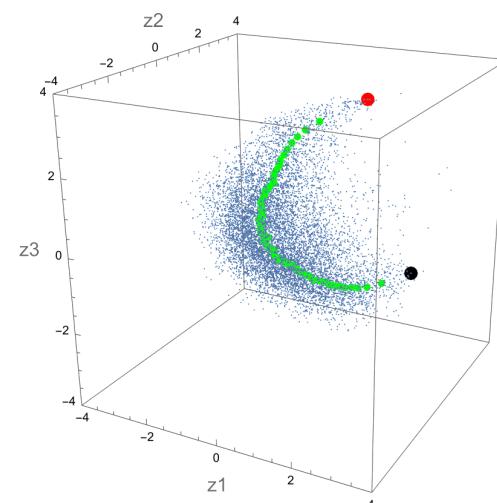
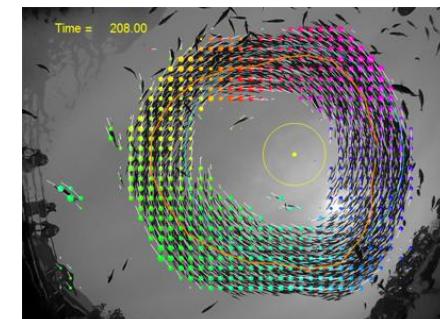
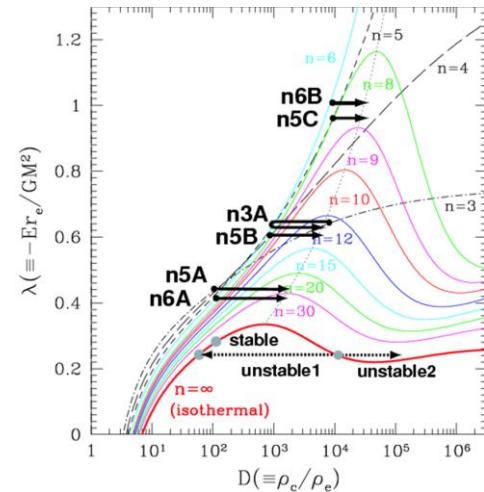
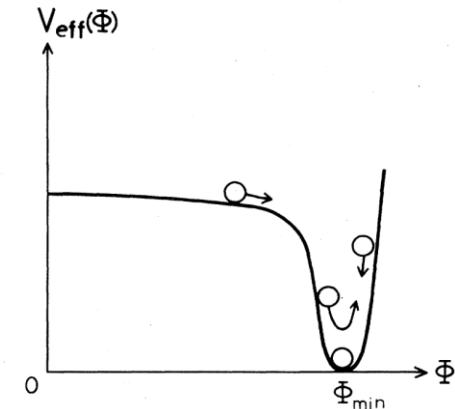
インフレーション宇宙

自己重力系、惑星形成

群れの科学（生物集団）

機械学習

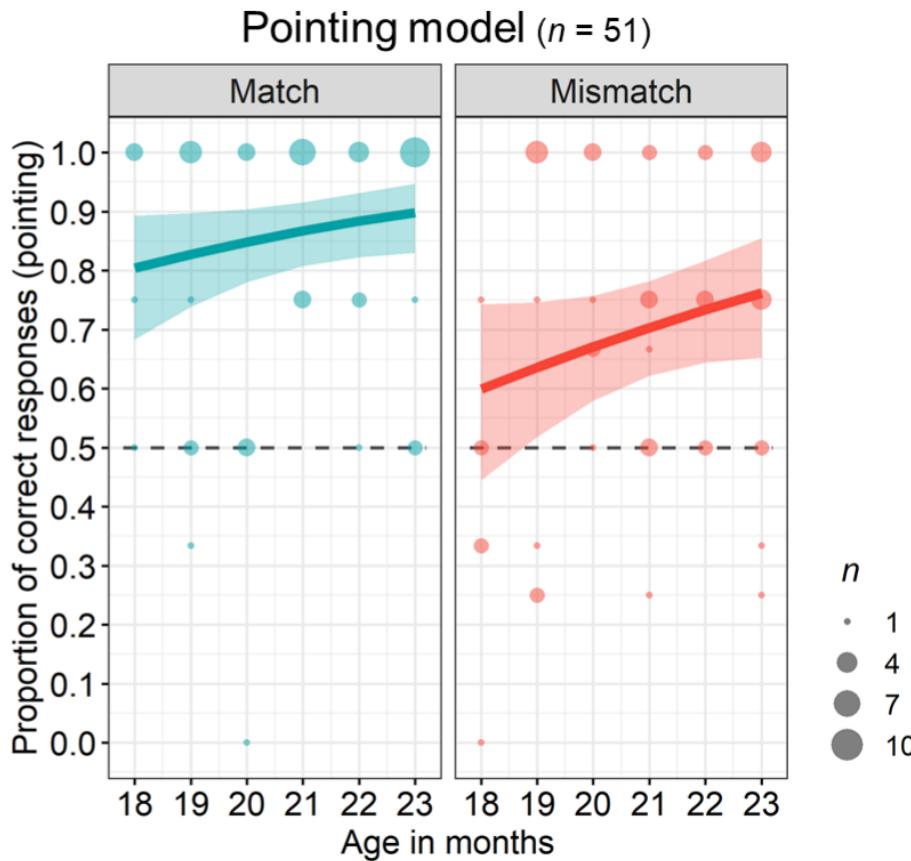
乳幼児のことばの発達, Slack解析,
高齢者の歩行



選択されたモデル

月齢×条件の交互作用ナシ (=主効果のみ) のモデル

指差し

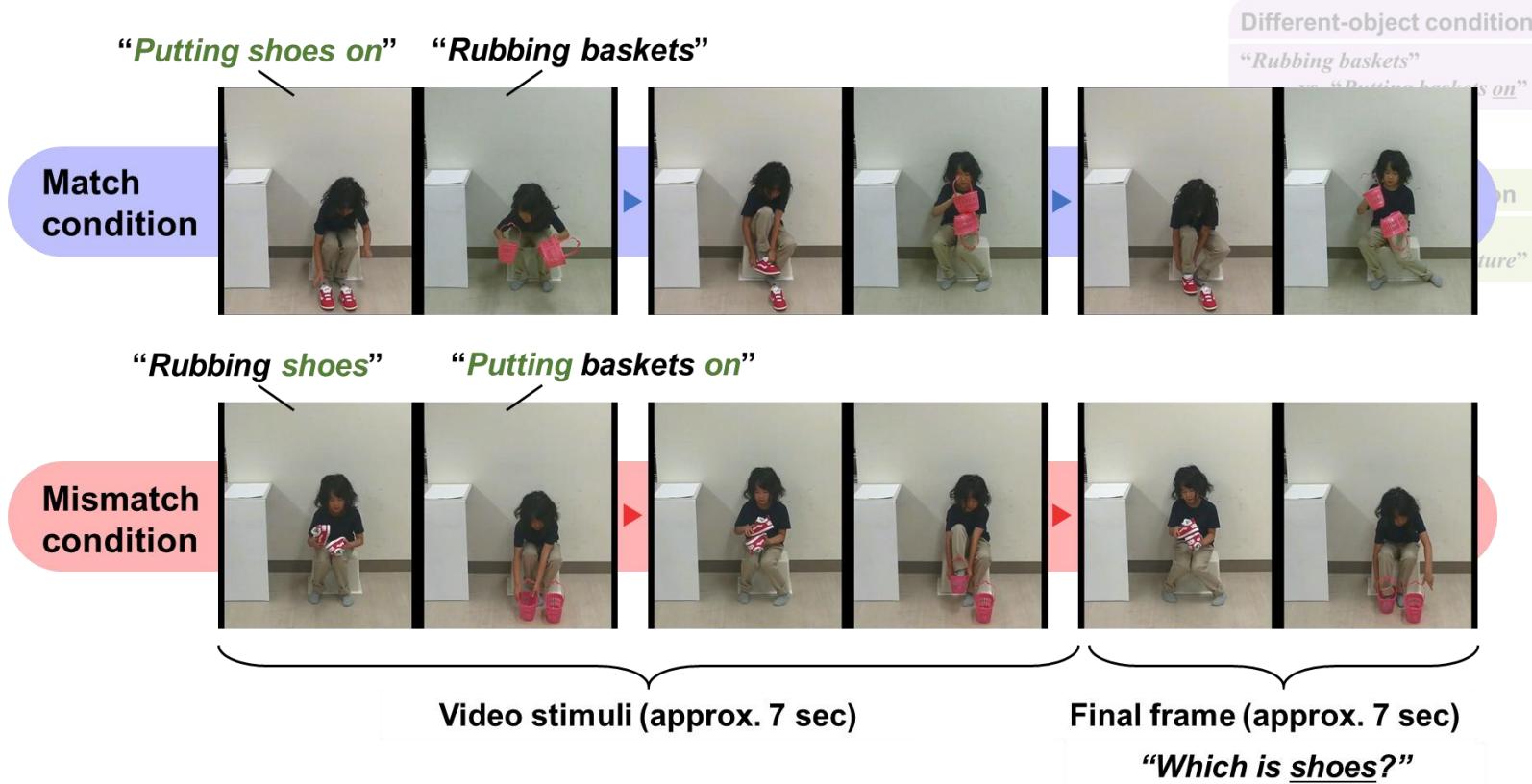


〈モノ+行為〉が一致の場合の語の意味判断
▶ 語の意味形成の程度を反映

〈モノ〉 〈行為〉が不一致の場合の語の意味判断
▶ 語の意味分化の程度を反映

Match condition
“Rubbing baskets”
vs. “Putting shoes on”

Mismatch condition
“Putting baskets on”
vs. “Rubbing shoes”



本講演1：9093名の英語CDI データのVAEによる解析

MCDI データ Frank et al. WordBank
<https://doi.org/10.117/S0305000916000209>

<http://wordbank.stanford.edu/>

月齢：16～30, 6960名
9093回分

縦断データ
1653名, 3786回分

月齢	人数
16	930
17	458
18	641
19	570
20	537
21	366
22	454
23	470
24	985
25	757
26	435
27	361
28	954
29	390
30	785

調査回数	人数
1	5307
2	1341
3	232
4	38
5	25
6	7
7	1
8	3
9	3
10	2
11	1

CDI の22分類と語彙数

no	22分類	語彙数
1	a-sounds	12
2	b-animals	43
3	c-vehicles	14
4	d-toys	18
5	e-food_drink	68
6	f-clothing	28
7	g-body_parts	27
8	h-household	50
9	i-furniture_rooms	33
10	j-outside	31
11	k-places	22

A～V で 680 語

no	22分類	語彙数
12	l-people	29
13	m-games_routines	25
14	n-action_words	103
15	o-descriptive_words	63
16	p-time_words	12
17	q-pronouns	25
18	r-question_words	7
19	s-locations	26
20	t-quantifiers	17
21	u-helping_verbs	21
22	v-connecting_words	6



名詞



動詞・形容詞



sound

本講演2：1056名の中国語CDI データのVAEによる解析

MCDI データ Frank et al. WordBank
<https://doi.org/10.1101/S0305000916000209>

<http://wordbank.stanford.edu/>

月齢：16～30, 1056名
1056回分

縦断データ
なし

月齢	人数
16	70
17	72
18	71
19	70
20	71
21	70
22	71
23	70
24	70
25	70
26	71
27	70
28	70
29	70
30	70

CDI の24分類と語彙数

A～X で 799 語

no	24分類	語彙数
1	a-sounds	12
2	b-people	32
3	c-games_routines	28
4	d-action_words	194
5	e-food_drink	69
6	f-body_parts	27
7	g-animals	49
8	h-descriptive_words	66
9	i-household	56
10	j-toys	18
11	k-clothing	28
12	l-furniture_rooms	29

no	24分類	語彙数
13	m-outside	32
14	n-vehicles	14
15	o-places	17
16	p-directions	21
17	q-quantifiers	9
18	r-pronouns	24
19	s-classifiers	20
20	t-question_words	12
21	u-final_particles	6
22	v-time_words	15
23	w-helping_verbs	12
24	x-connecting_words	9



名詞



動詞・形容詞



sound

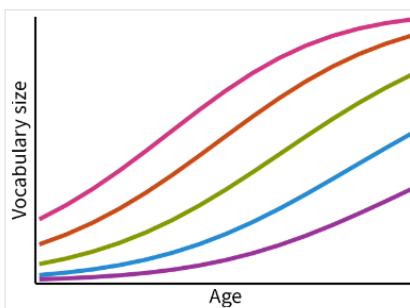
Wordbank

Data Contributors Announcements About Us FAQ



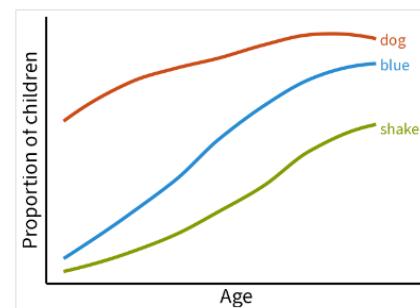
Wordbank

An open database of children's vocabulary development



Vocabulary Norms

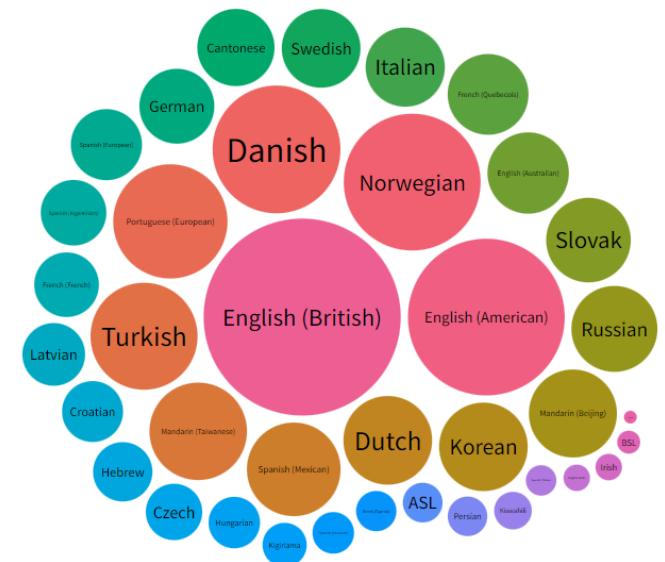
Explore vocabulary size growth curves for various languages and demographic groups.



Item Trajectories

Explore developmental trajectories of individual words in various languages.

Wordbank contains data from 84,138 children and 94,451 CDI administrations, across 38 languages and 78 instruments:

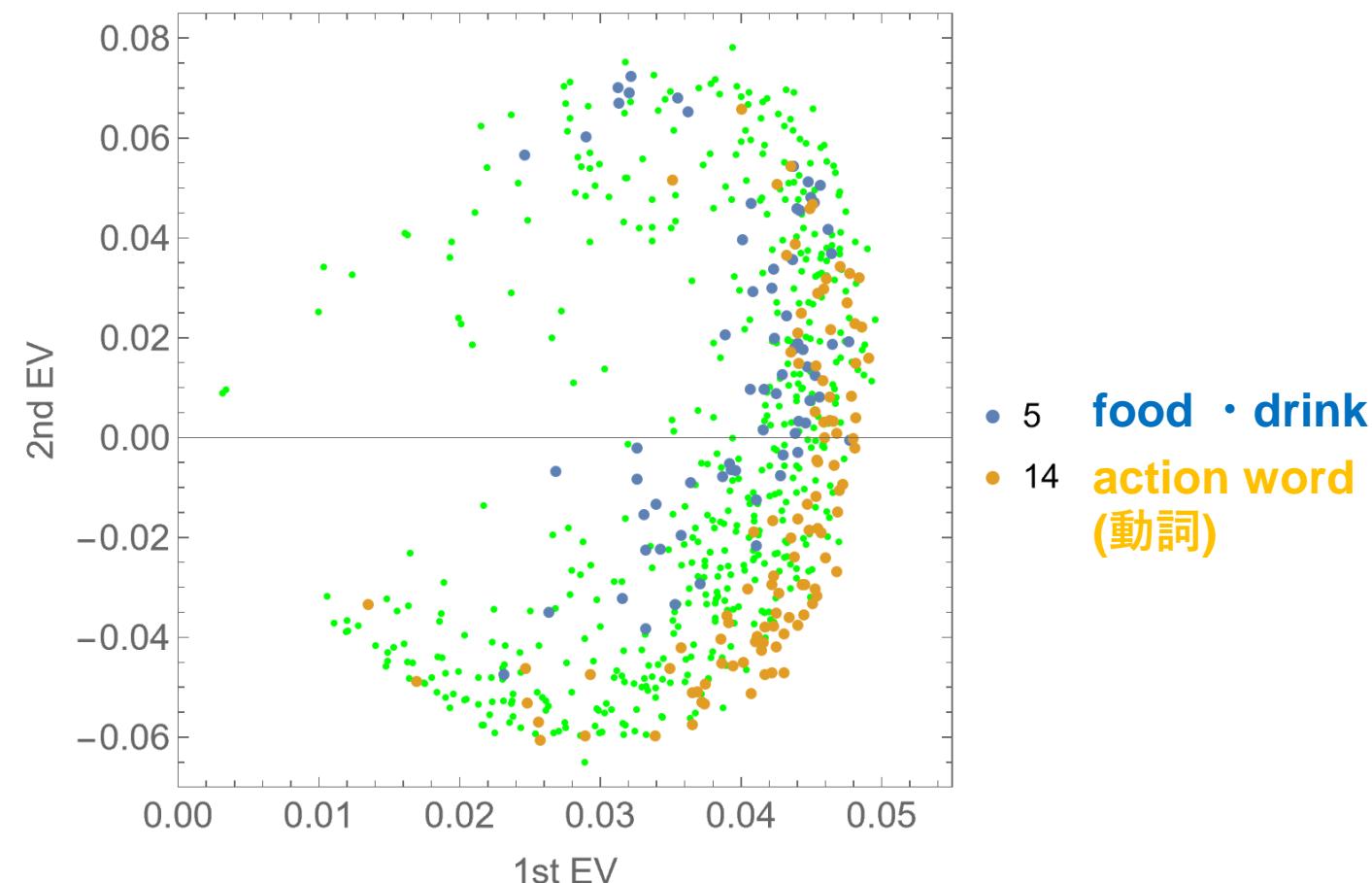
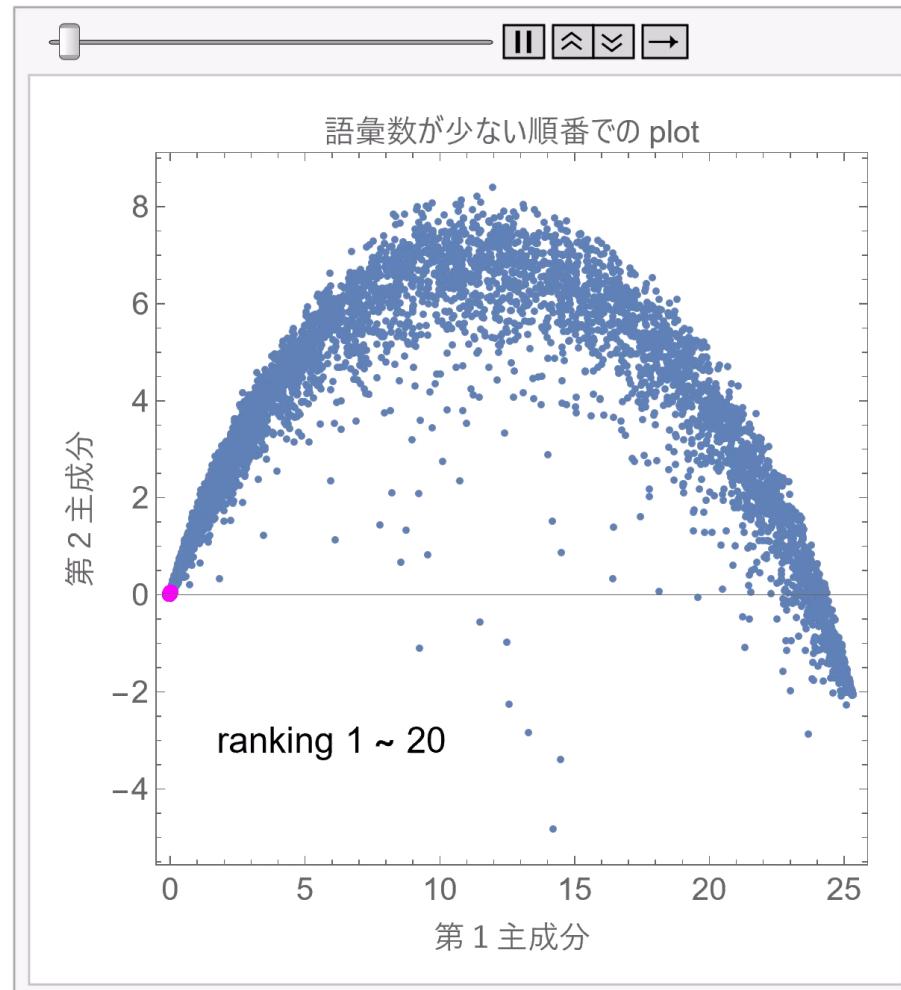


PCAの場合: MCDI 680項目 → 第1, 第2主成分 発達を表す擬一次元構造

射影平面での,のべ5520名の分布

擬1次元構造が存在 → 表出語彙の発達

表出語彙数の順番に10名ずつプロット



Variational AutoEncoder (VAE)による解析

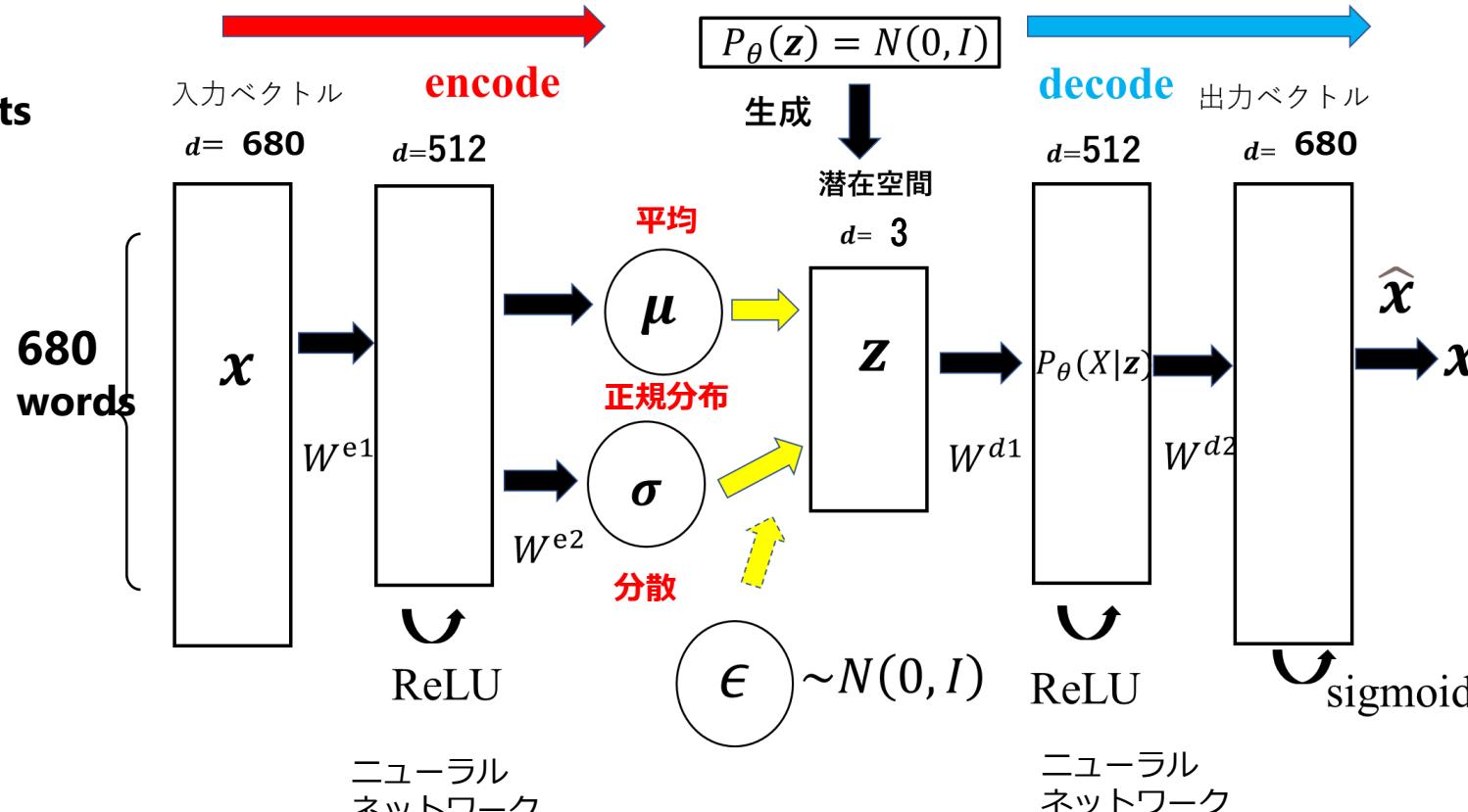
Kingma & Welling, 2013; Rezende et al., 2014

Auto-Encoding Variational Bayes

9093 data points



MCDI
データ



MCDI
データ

主成分分析に相当
高次元データを
低次元に写像

潜在空間 Z
(3次元)

生成モデル

Probability of "says"
for each words

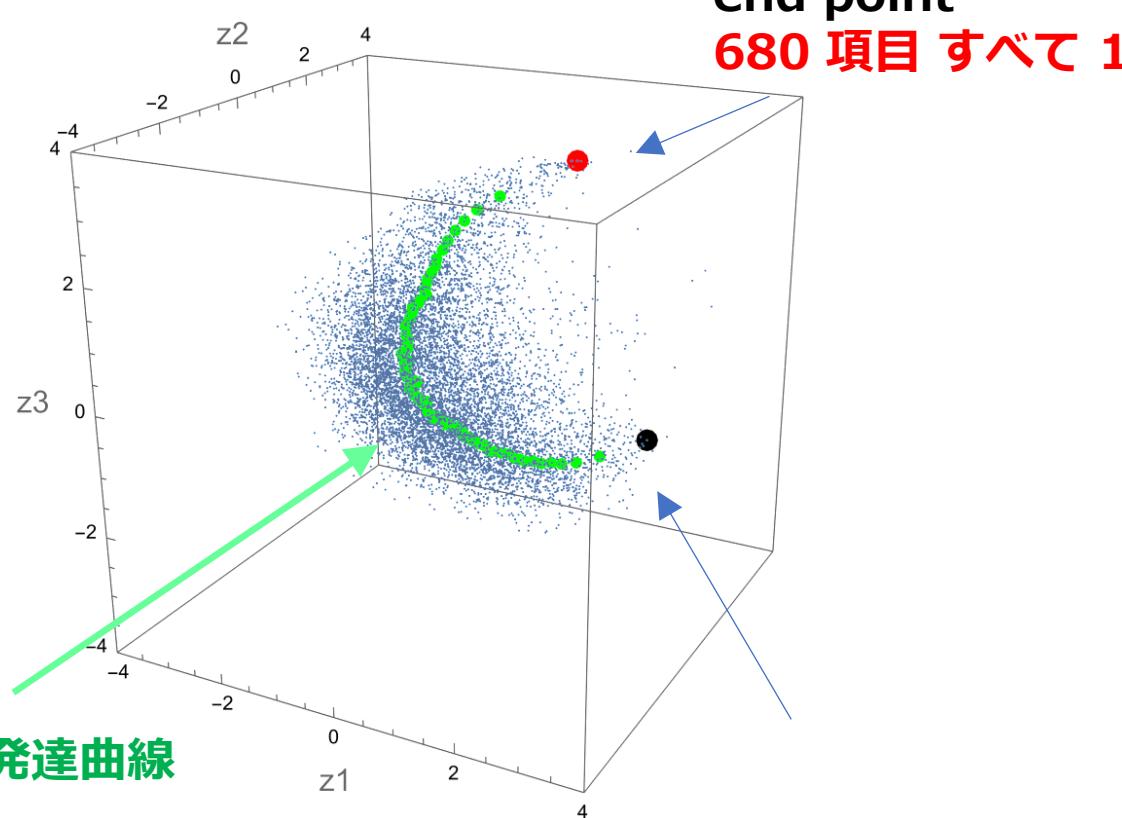


MCDI
データ

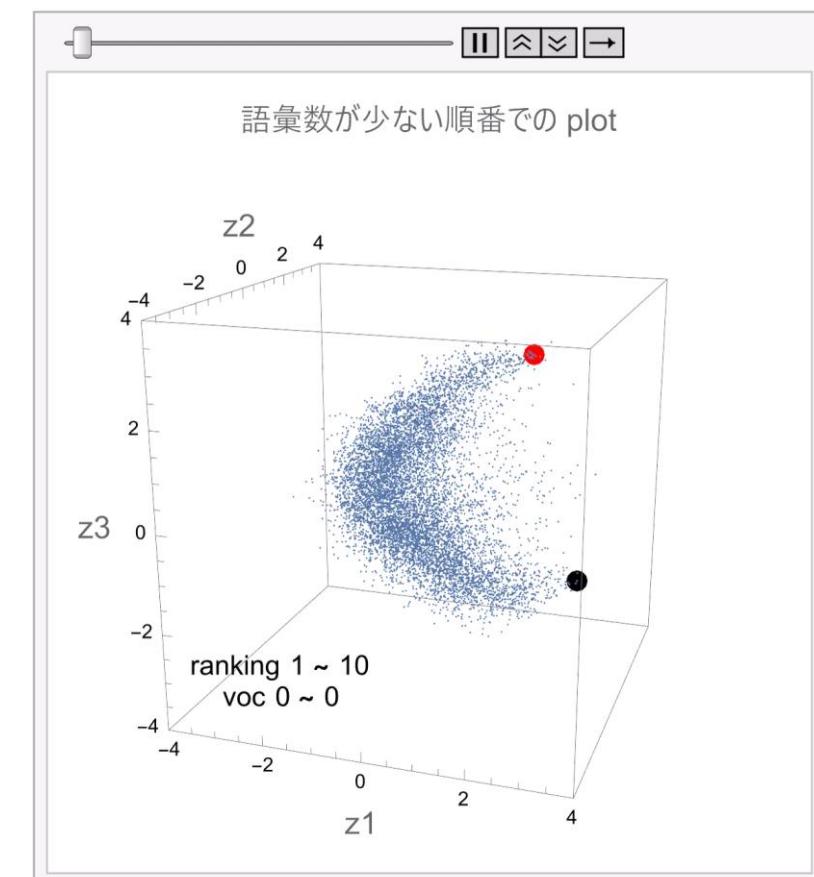
Encoder: 英語CDI 680項目 → 3次元(μ 潜在空間) 発達を表す擬一次元構造

潜在空間（3次元 μ ）での,のべ9093名の分布

擬一次元構造が存在 → 表出語彙の発達



表出語彙数の順番に 10 名ずつプロット

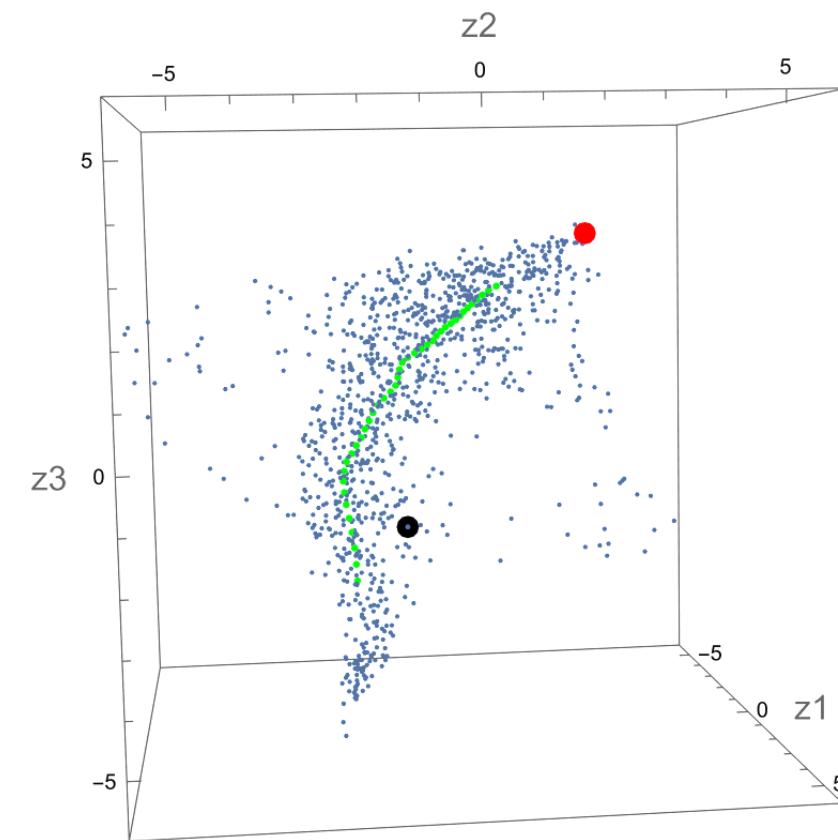
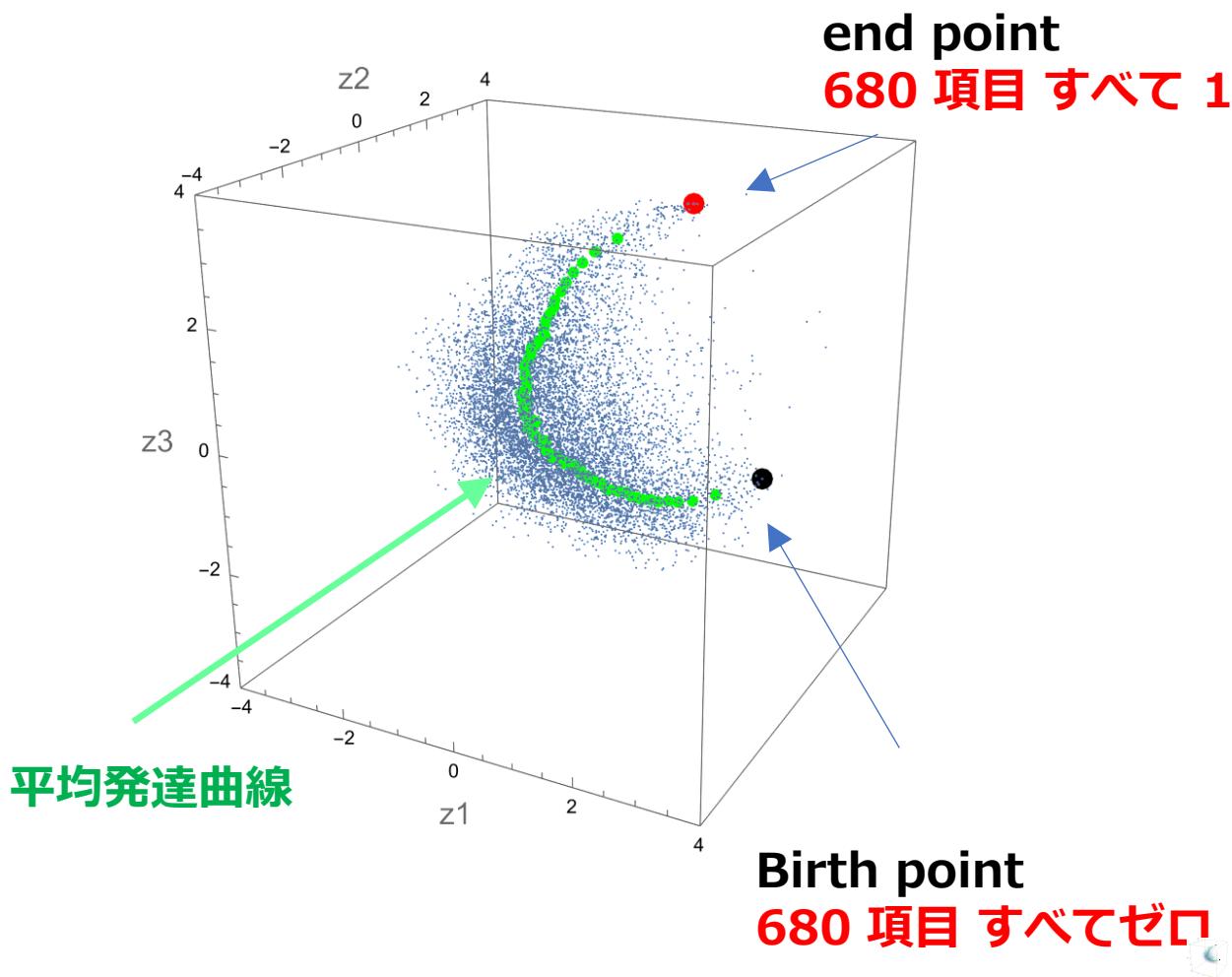


Encoder : 英語CDI 680項目 9093名 中国語CDI 799項目 1056名

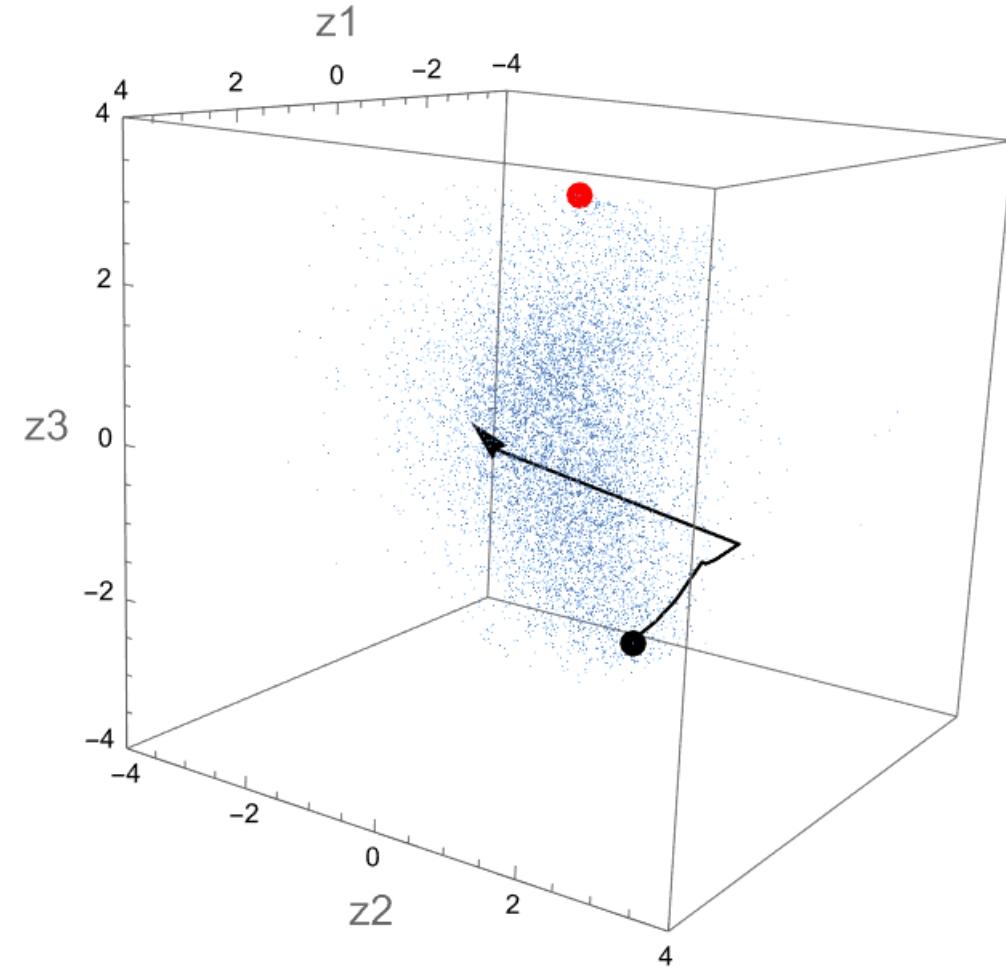
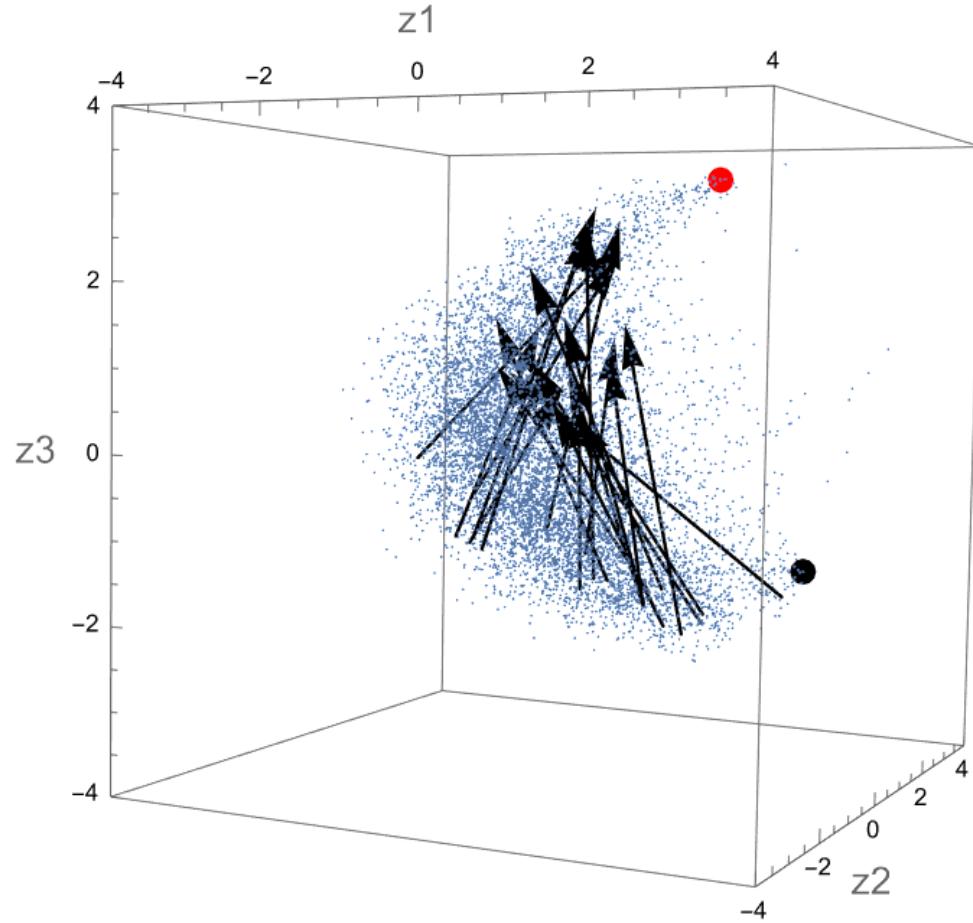
英語：潜在空間（3次元 μ ）での,のべ9093名の分布

中国語：潜在空間（3次元 μ ）での,1056名の分布

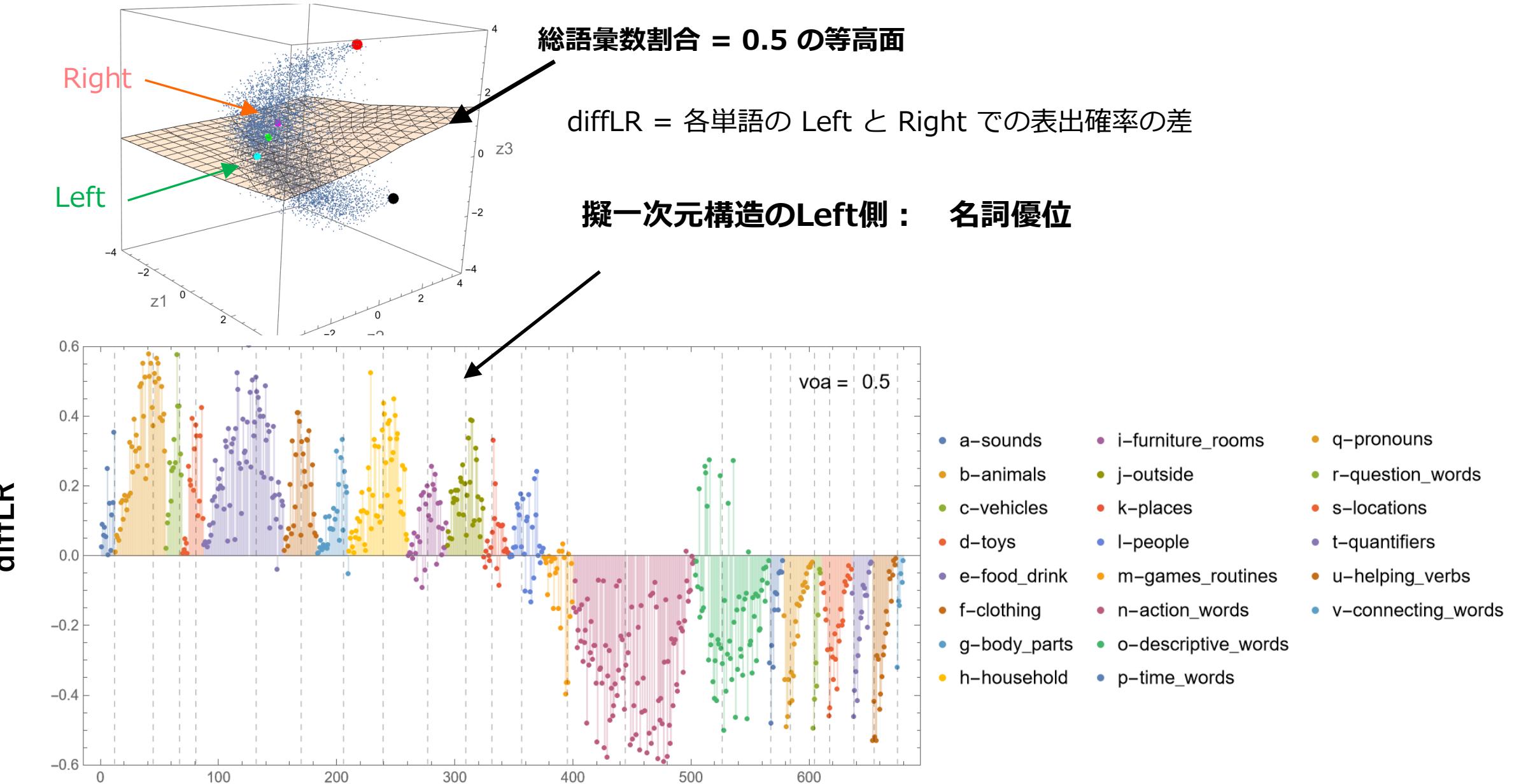
擬1次元構造が存在 → 表出語彙の発達



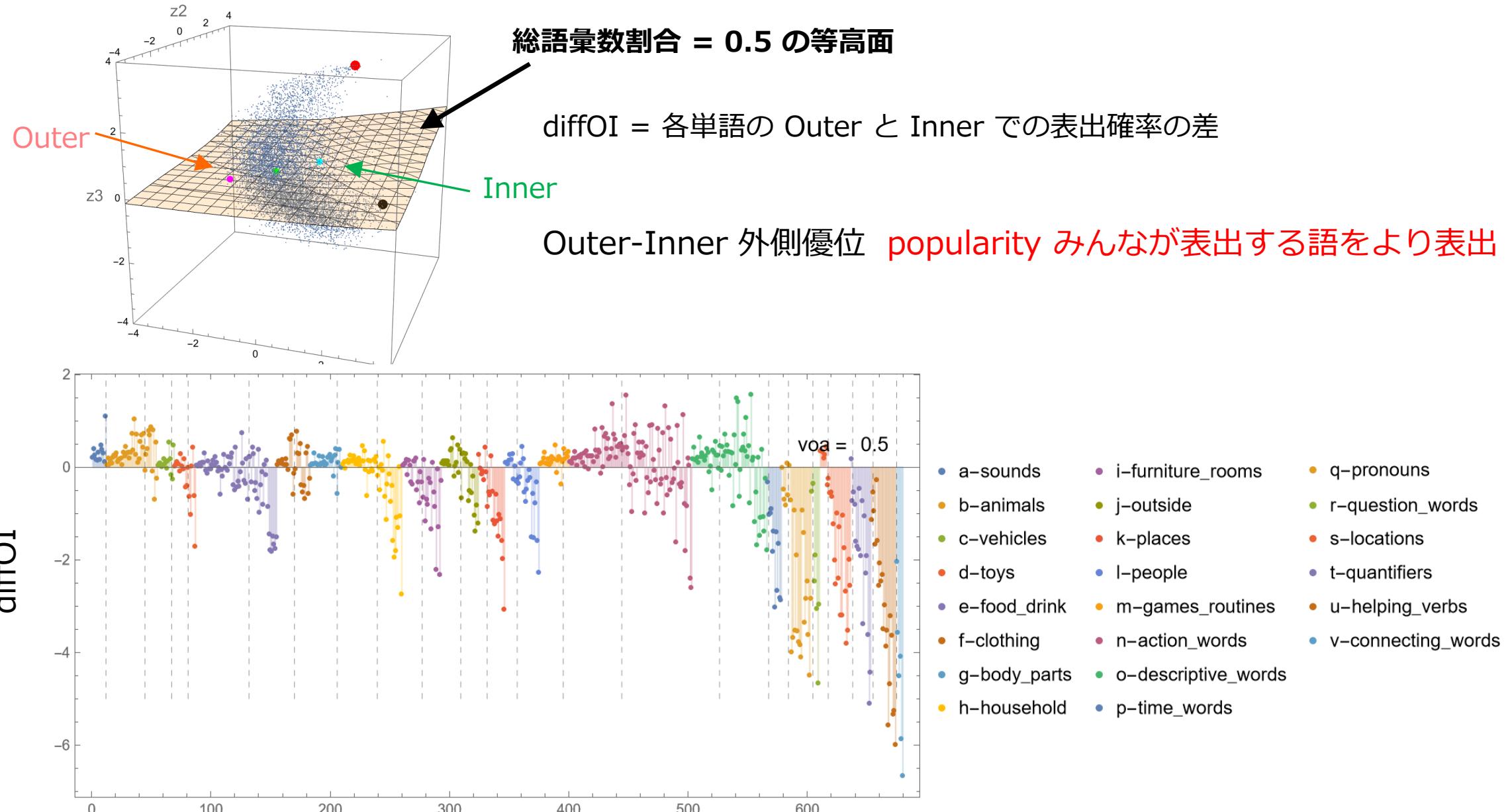
Encoder : 英語CDI 縦断データ



Decoder: 英語 diffLR: left と right での680語の表出確率の差分



Decoder: 英語 diffOI: outer と inner での680語の表出確率の差分



Late Talker, Early Talker

Early talker

各月齢で総語彙数上位 80%~100%

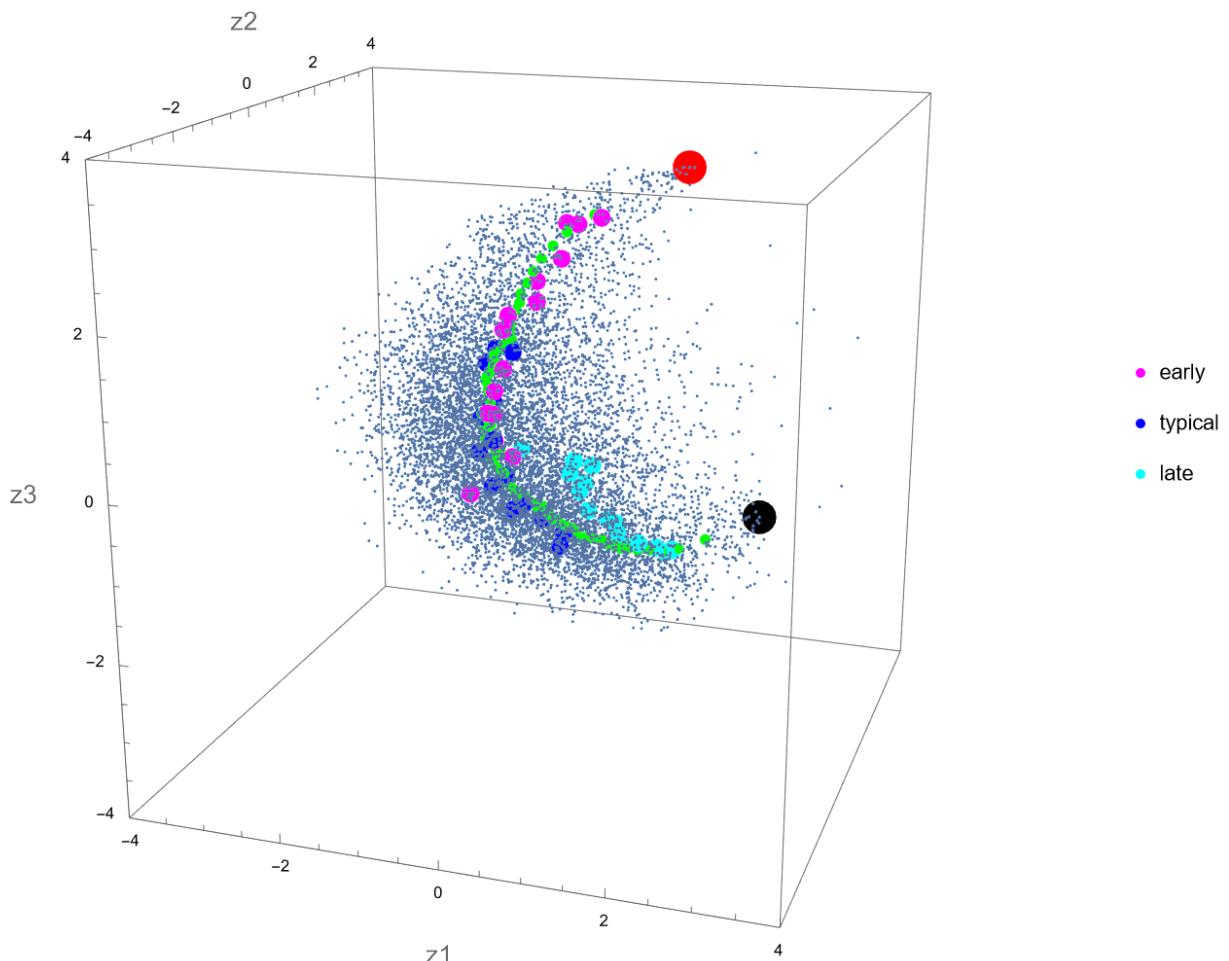
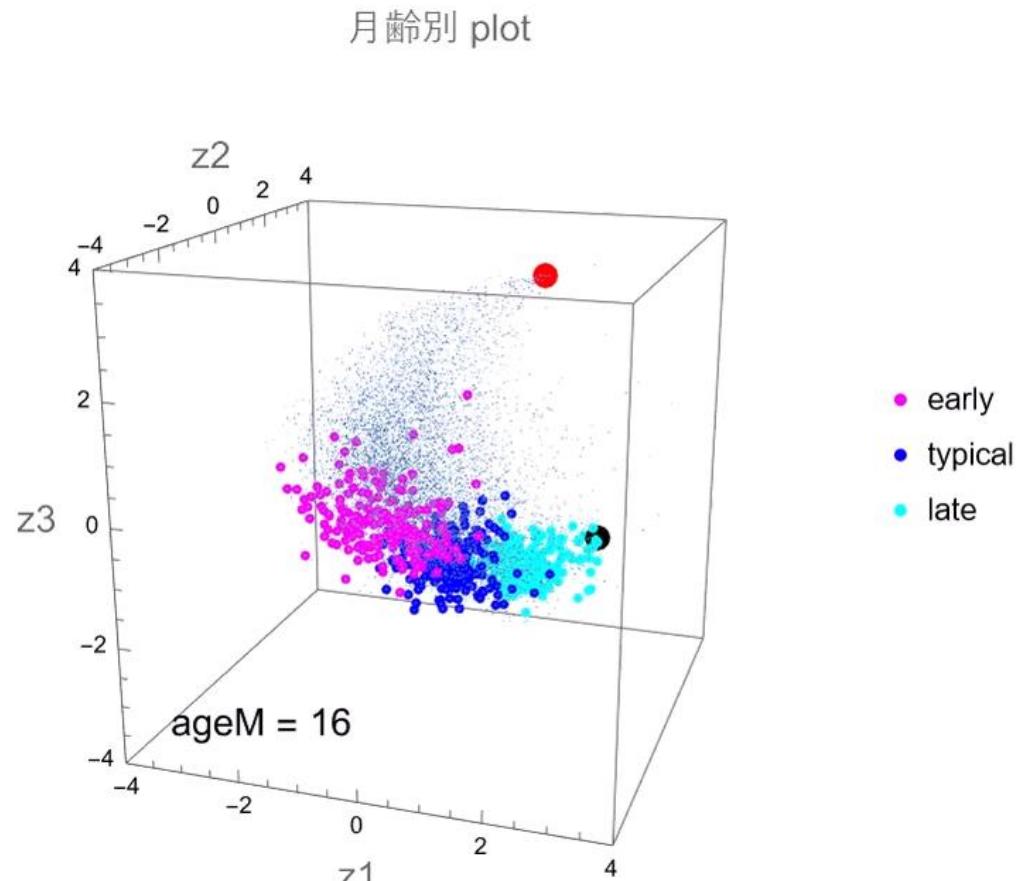
Typical talker

上位 40%~60%

Late talker

上位 0 % ~20%

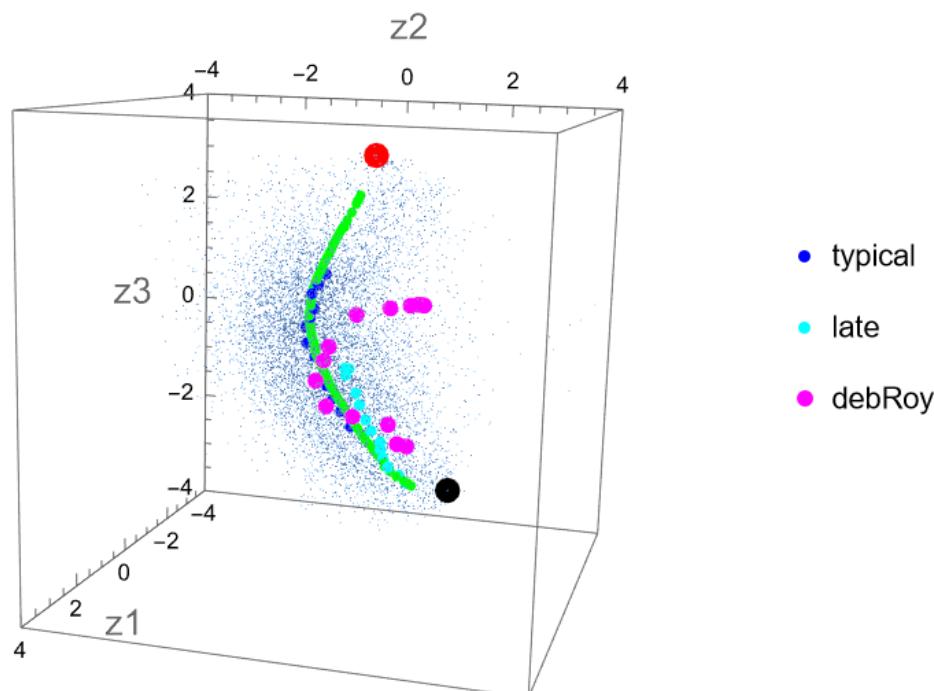
月齢別 plot



具体的な発達の経路の例

潜在空間での表示

月齢別 plot



PNAS

Predicting the birth of a spoken word

Brandon C. Roy^{a,b,1}, Michael C. Frank^b, Philip DeCamp^a, Matthew Miller^a, and Deb Roy^a

^aMIT Media Lab, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139; and ^bDepartment of Psychology, Stanford University, Stanford, CA 94305

Edited by Richard N. Aslin, University of Rochester, Rochester, NY, and approved August 11, 2015 (received for review October 19, 2014)

Children learn words through an accumulation of interactions grounded in context. Although many factors in the learning environment have been shown to contribute to word learning in individual studies, no empirical synthesis connects across factors. We introduce a new ultradense corpus of audio and video recordings of a single child's life that allows us to measure the child's experience of each word in his vocabulary. This corpus provides the first direct comparison, to our knowledge, between different predictors of the child's production of individual words. We develop a series of new measures of the distinctiveness of the spatial, temporal, and linguistic contexts in which a word appears, and show that these measures are stronger predictors of learning than frequency of use and that, unlike frequency, they play a consistent role across different syntactic categories. Our findings provide a concrete instantiation of classic ideas about the role of coherent activities in word learning and demonstrate the value of multimodal data in understanding children's language acquisition.

that support it, is likely to be a better predictor of learning (2, 11, 12). In the laboratory, language that is embedded within coherent and comprehensible social activities gives strong support for meaning learning (3, 13). In addition, the quantity of speech directed toward the child predicts development more effectively than total speech overheard by the child (14).

Presumably, what makes high-quality, child-directed speech valuable is that this kind of talk is grounded in a set of rich activities and interactions that support the child's inferences about meaning (2, 11). Measuring contextually grounded talk of this type is an important goal, yet one that is challenging to achieve at scale. In our analyses, we introduce data-driven measures that quantify whether words are used in distinctive activities and interactions, and we test whether these measures predict the child's development.

Outcome variables regarding overall language uptake are also difficult to measure, especially for young children. Language

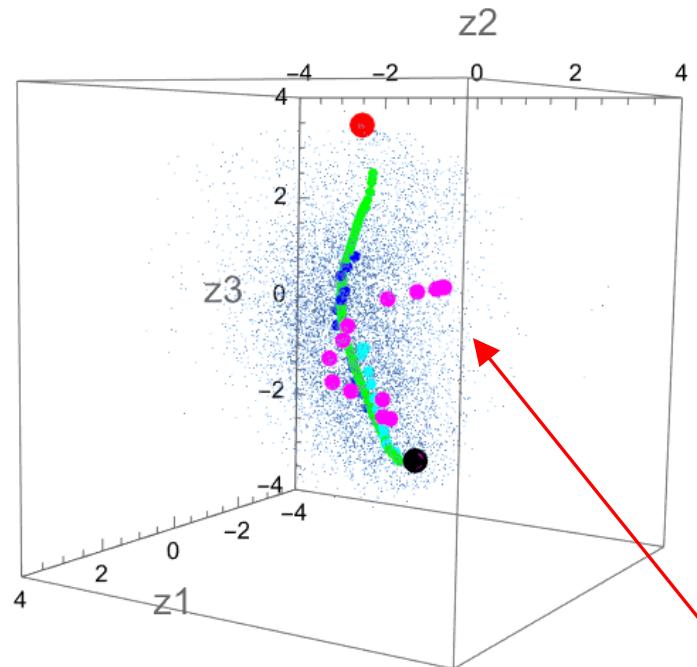
The child investigated by Roy et al. (2015) preferred the **inner route**



具体的な発達の経路の例

潜在空間での表示

月齢別 plot



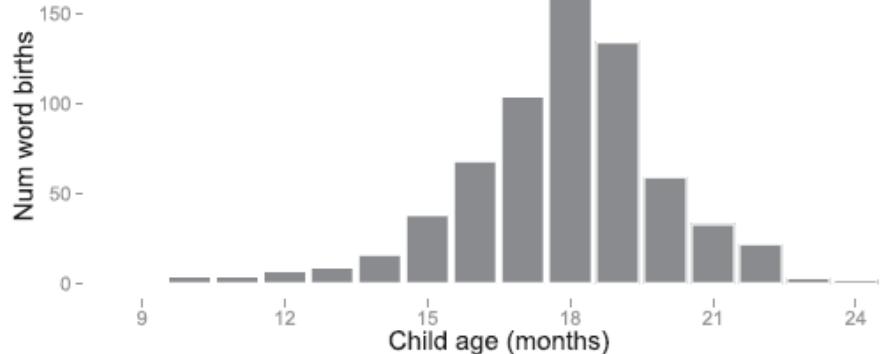
Left(名詞優位)

モノの名前を中心に語彙を構成する「参照型」(referential)

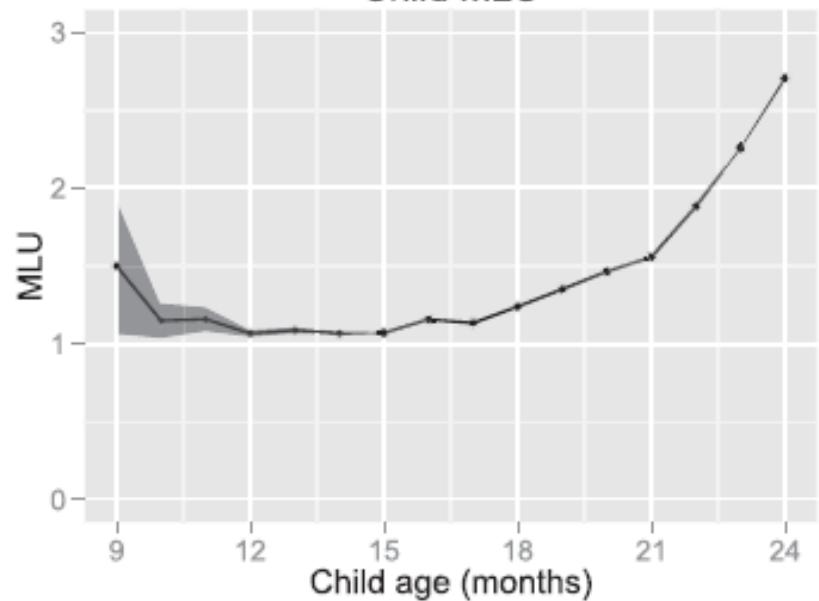
Right(述語・閉じた語優位)

事物の名前が少なく代名詞や機能語、一語より長い定型句「表現型」(expressive)

Word births by month



Child MLU



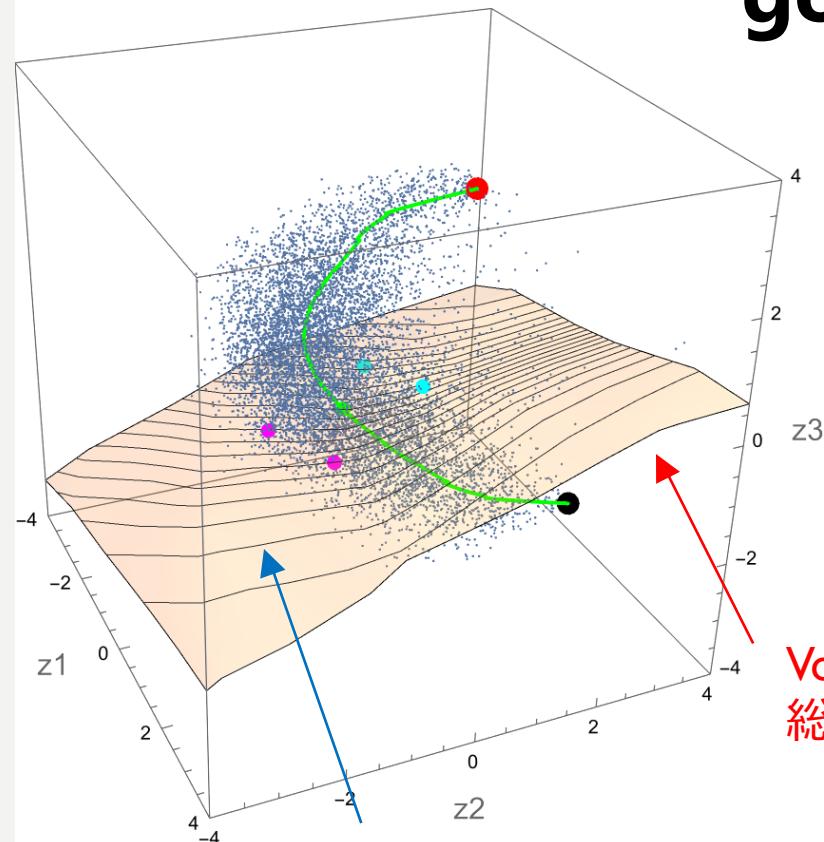
Decoder の活用：データ駆動的に680語の特徴量を提案

4つの特徴量をdecoder を用いて計算する（アприオリな品詞や22 カテゴリーとは異なる）

$$\text{VoA}=0.1246$$

go

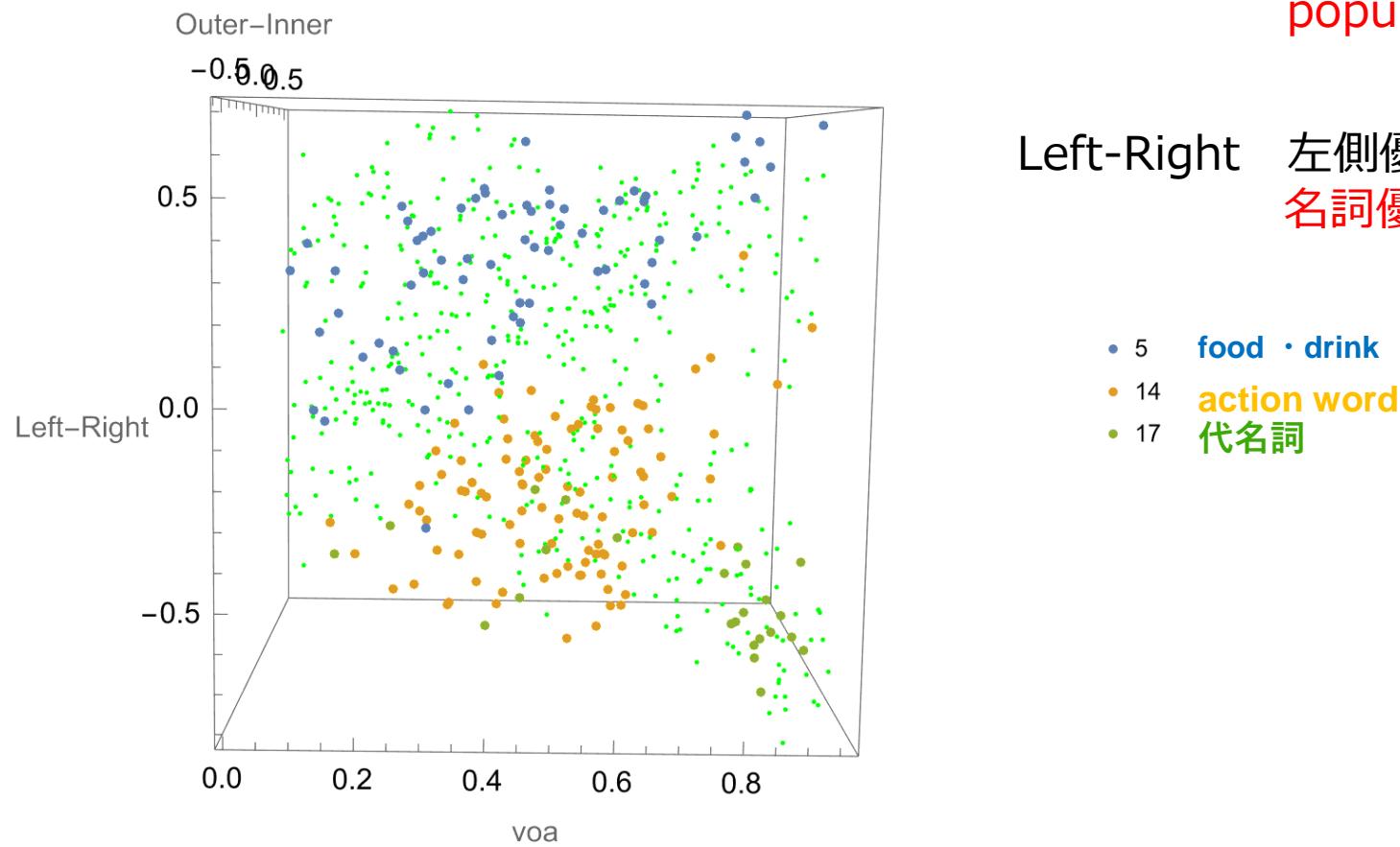
four developmental characteristics for each words



goの表出確率の等高線

1. **VoA (vocabulary of acquisition)**
平均発達曲線上で、ある語の表出確率が 0.5 になる総語彙数割合
2. **Graduality**
平均発達曲線上での、表出確率0.75 と0.25 の総語彙数割合の差
3. **Outer-Inner preference**
ある語の表出確率が 0.5 になる総語彙数一定面での、外側-内側の表出確率の差
4. **Left-Right preference**
ある語の表出確率が 0.5 になる総語彙数一定面での、左側-右側の表出確率の差

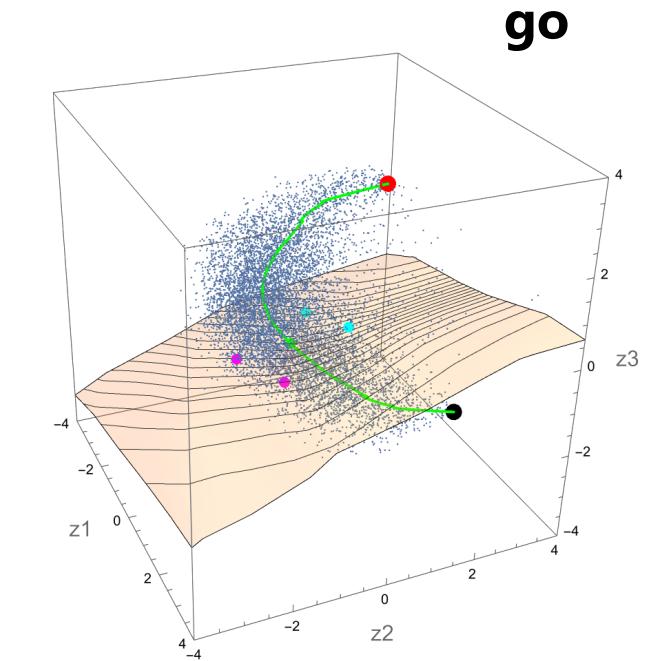
計算された英語（680語）の VoA-OuterInner-LeftRight 分布



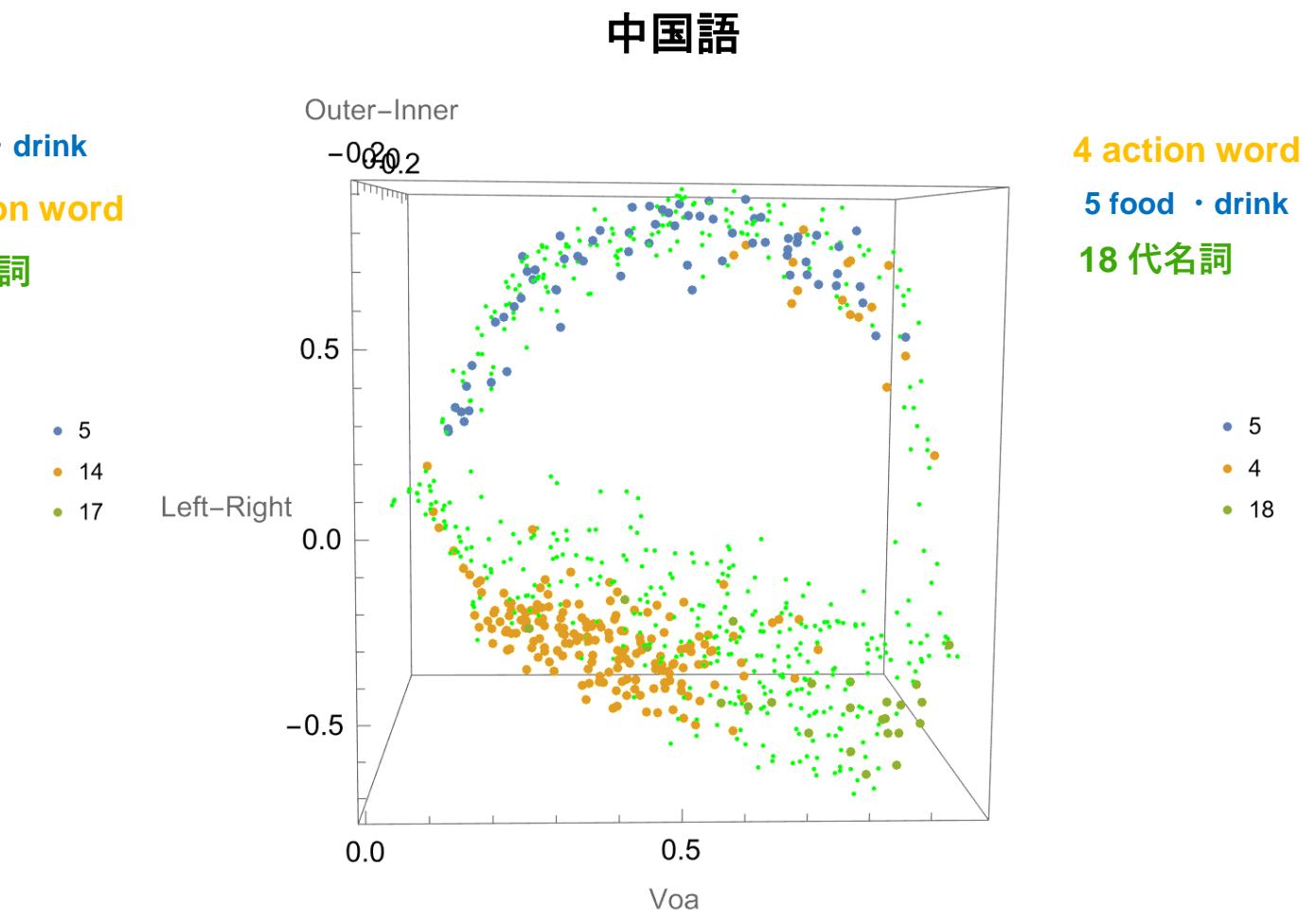
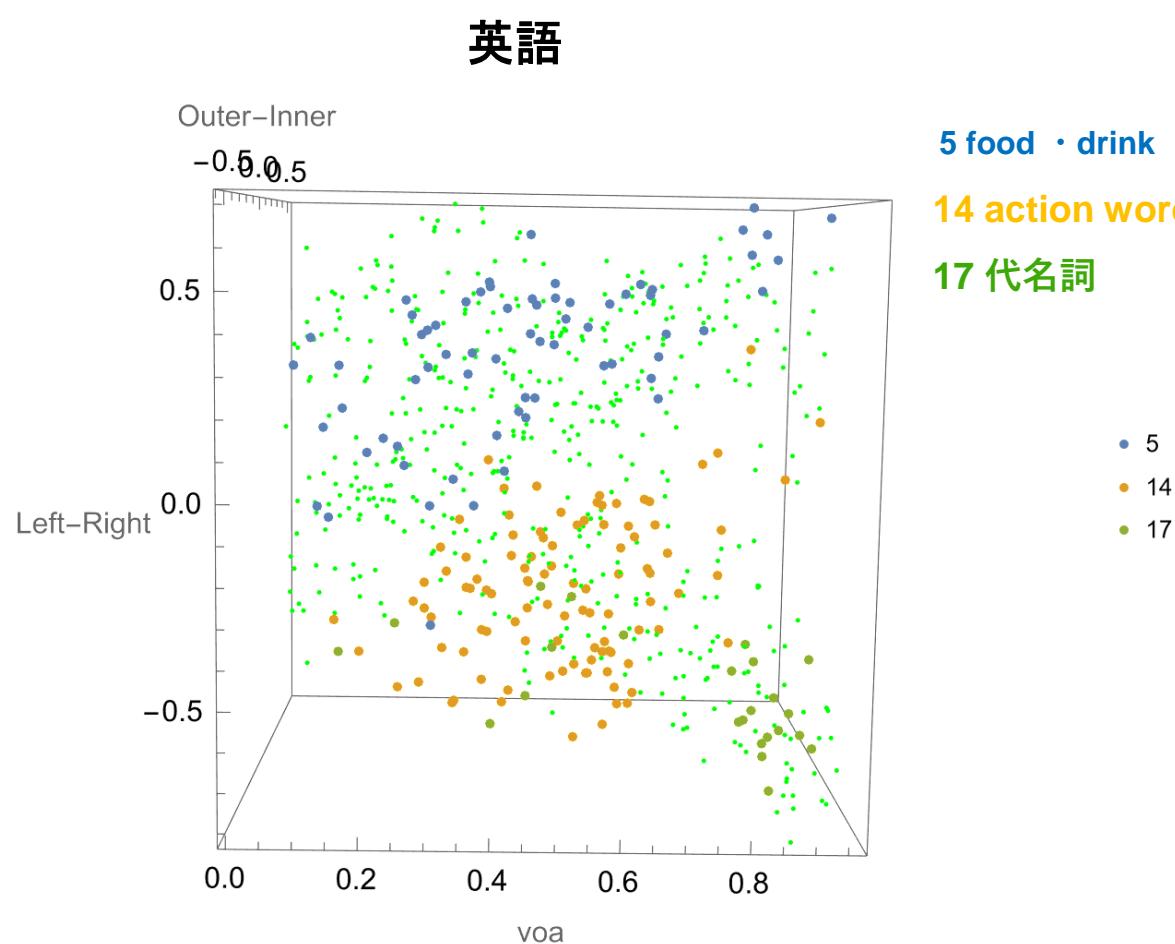
VoA 獲得時期の総語彙数

Outer-Inner 外側優位 外側で表出確率が大きい
popularity みんなが表出する語をより表出

Left-Right 左側優位 左側で表出確率が大きい
名詞優位



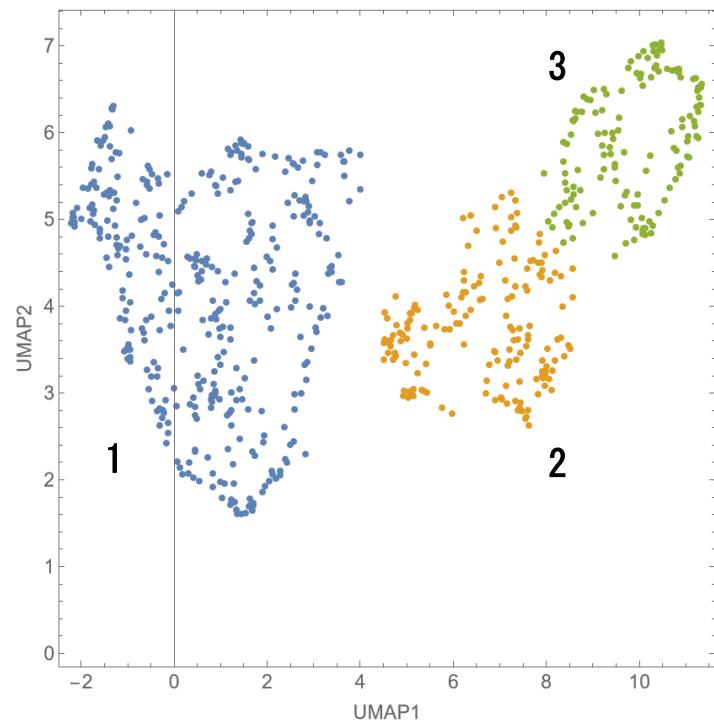
VoA–OuterInner–LeftRight 分布：英語と中国語の比較



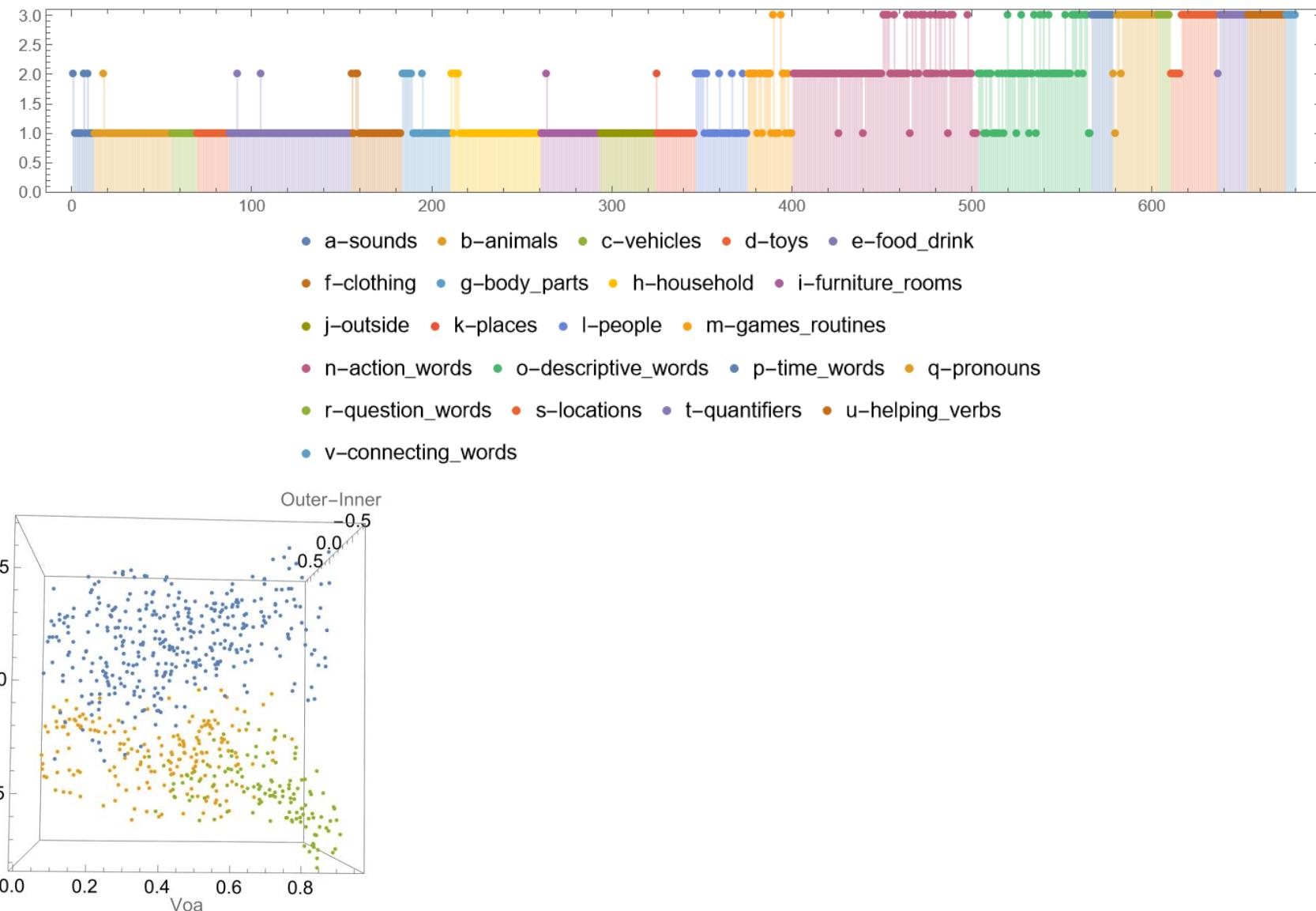
英語も上下(Left–Right)で2つのクラスターに
分けることができるか？

UMAP で2次元に埋め込んでみる

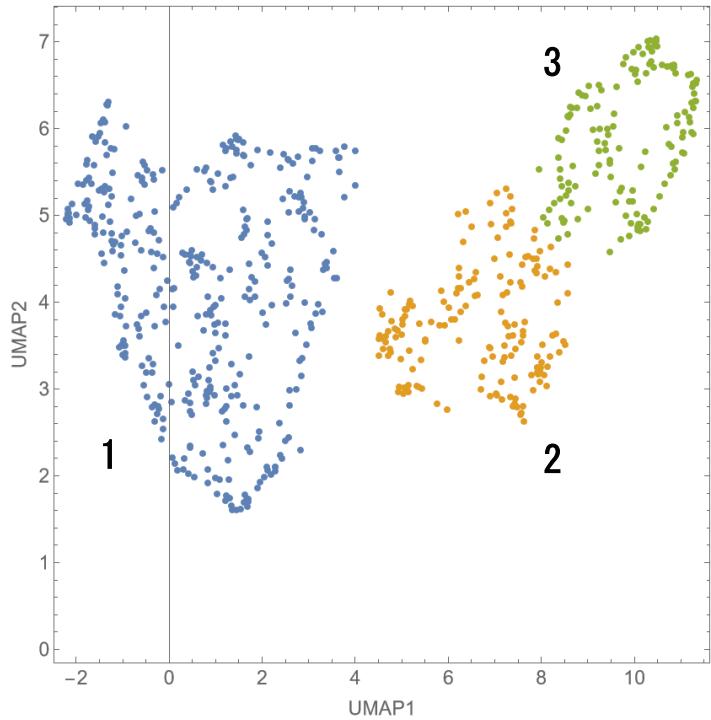
UMAP による 2 次元への埋め込みとクラスタリング 英語



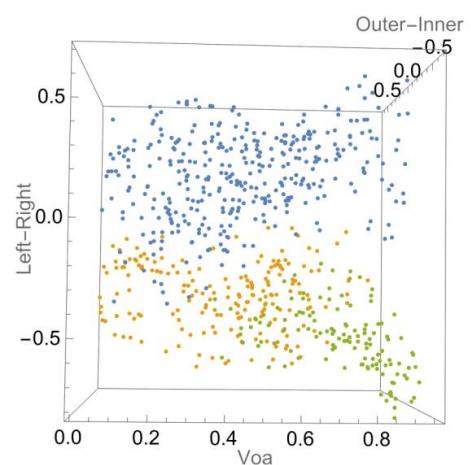
- 1 主に名詞 (名詞クラスター)
- 2 主に動詞, 形容詞 (述語クラスター)
- 3 主に閉じた語 (閉じた語クラスター)



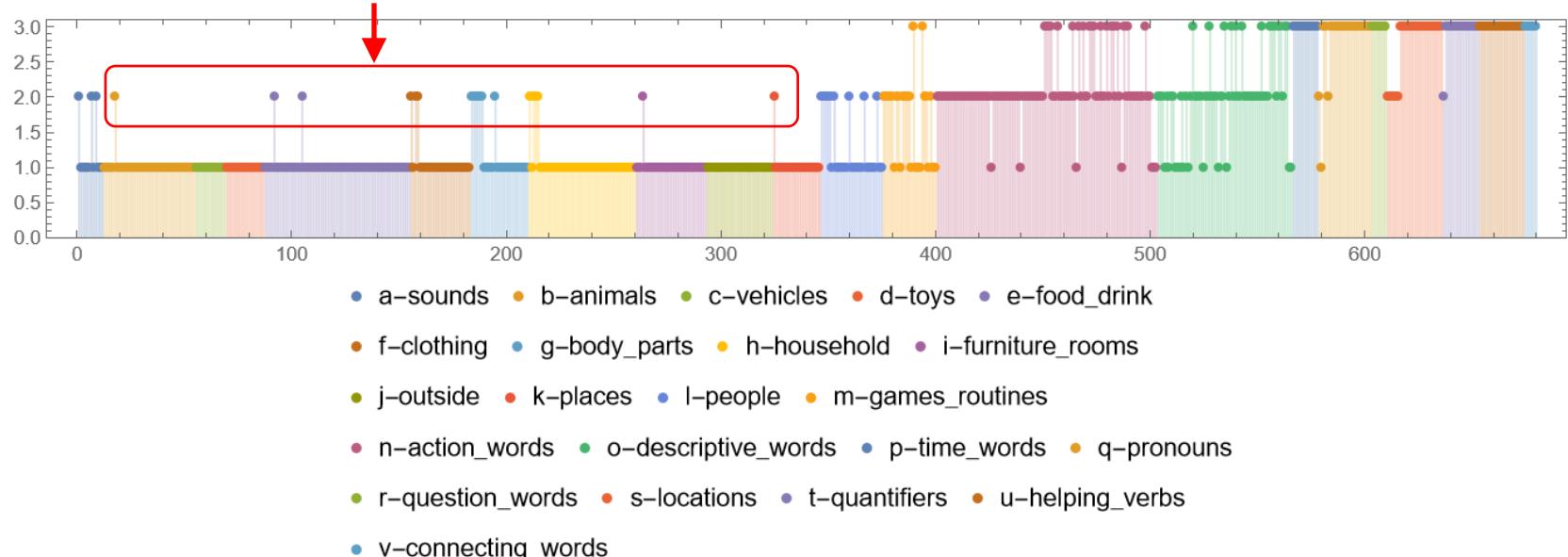
UMAP による 2 次元への埋め込みとクラスタリング 英語 胚性詞的な語の存在



- 1 主に名詞 (名詞クラスター)
- 2 主に動詞、形容詞 (述語クラスター)
- 3 主に閉じた語 (閉じた語クラスター)



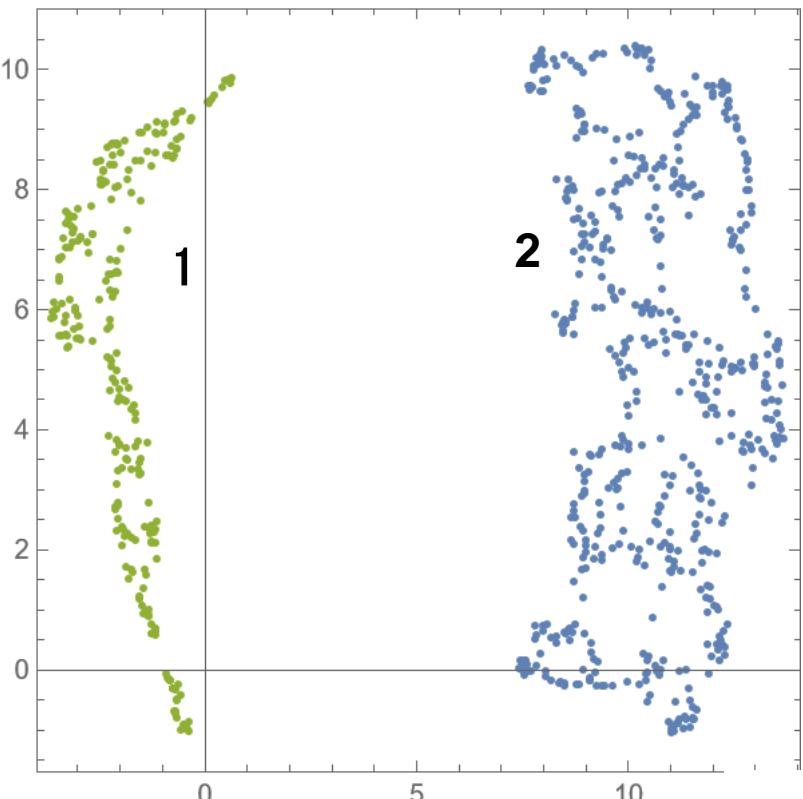
胚性詞的な語



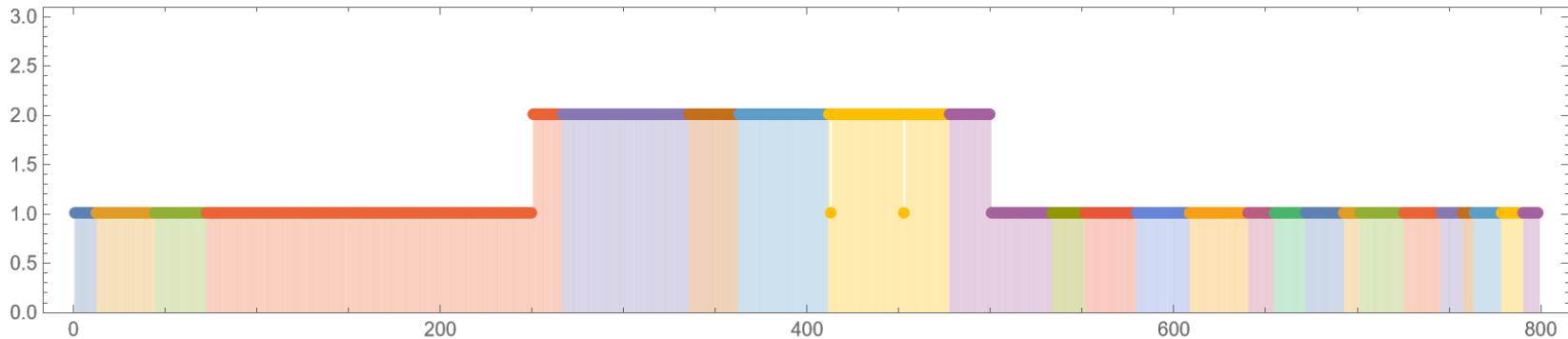
胚性詞的な語 のリスト

no	cat	word	catnum	voa	graduality	Outer-Inner	Left-Right
36	b-animals	kitty	b24	0.131755	0.334992	0.397545	-0.161543
108	e-food_drink	drink (beverage)	e21	0.278259	0.345539	0.175235	-0.14046
121	e-food_drink	juice	e34	0.0927354	0.212747	0.179841	-0.178434
162	f-clothing	diaper	f7	0.149513	0.171681	0.201034	-0.174161
174	f-clothing	shoe	f19	0.0538887	0.0540924	0.22206	-0.0699291
179	f-clothing	sock	f24	0.11683	0.305468	0.444768	-0.129234
190	g-body_parts	ear	g7	0.0929975	0.100981	0.334007	-0.0266832
191	g-body_parts	eye	g8	0.0621876	0.0690322	0.253053	-0.148527
195	g-body_parts	hair	g12	0.141431	0.127696	0.284694	-0.11744
201	g-body_parts	mouth	g18	0.152944	0.179394	0.276548	-0.1059
202	g-body_parts	nose	g19	0.068072	0.0799493	0.381342	-0.0825944
203	g-body_parts	owie/boo boo	g20	0.13144	0.300488	0.486374	-0.422677
209	g-body_parts	tummy	g26	0.234105	0.202984	0.13832	-0.208771
212	h-household	blanket	h2	0.196577	0.201968	0.247321	-0.193875
213	h-household	bottle	h3	0.194991	0.377495	0.285539	-0.194218
223	h-household	cup	h13	0.13251	0.161608	0.149428	-0.145788
231	h-household	keys	h21	0.164503	0.392767	0.223548	-0.132838
281	i-furniture_rooms	potty	i21	0.208805	0.236091	0.236789	-0.200597
336	k-places	outside	k12	0.172716	0.244276	0.524218	-0.184782

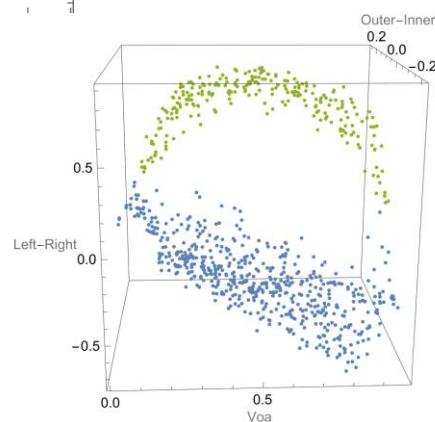
UMAP による 2 次元への埋め込みとクラスタリング 中国語



- 1 主に名詞
2 主に動詞、形容詞、閉じた語



- a-sounds • b-people • c-games_routines • d-action_words • e-food_drink
- f-body_parts • g-animals • h-descriptive_words • i-household
- j-toys • k-clothing • l-furniture_rooms • m-outside • n-vehicles
- o-places • p-directions • q-quantifiers • r-pronouns • s-classifiers
- t-question_words • u-final_particles • v-time_words • w-helping_verbs
- x-connecting_words



まとめ

1. 英語、中国語CDIデータを対象にVAEを用いて解析

2. 潜在空間の解釈

Left-Right 動詞優位 \leftrightarrow 名詞優位
Outer-Inner popularity

3. 各語について4つの特徴量を計算

Voa, Graduality,
Outer-inner, Left-Right

4. 特徴量のUMAPによる埋め込みとクラスタリング

名詞、述部、閉じた語クラスター（意味論的）
がデータ駆動的に得られた。

英語与中国語で発達初期の分岐構造が異なる

胚性詞状態の語を発見

5. 胚性詞状態の語の発達

発達にともない名詞クラスターに移行

