B2-3

日本語推論システムlightblueの開発環境構築に向けて

3/11/2025 言語処理学会第31回年次大会

お茶の水女子大学 佐伯小遥 富田朝 戸次大介

目次

01

研究概要

自然言語推論(Natural Language Inference, NLI)

与えられた前提と仮説間に**含意関係**が成り立つかを判定するタスク

例）

前提：「山田先生が青木さんを叱った。」

↓ **含意**する(yes)

仮説：「青木さんが山田先生に叱られた。」

自然言語推論(Natural Language Inference, NLI)

LLMによる推論：推論過程が不透明

理論言語学に基づく推論：推論の妥当性を保証する**証明図**を出力

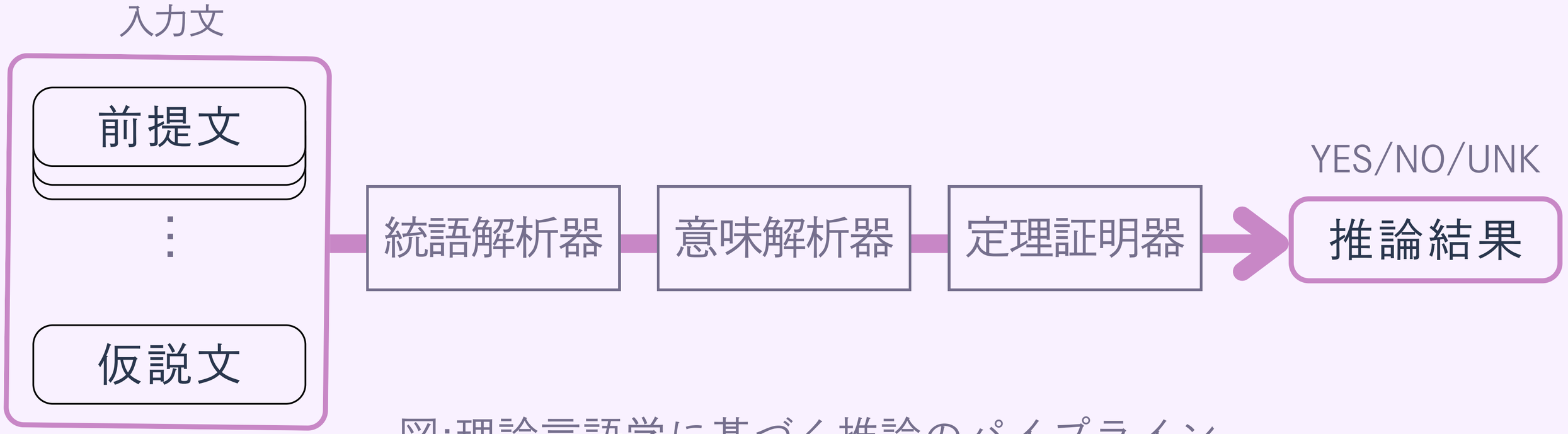


図:理論言語学に基づく推論のパイプライン

自然言語推論(Natural Language Inference, NLI)

LLMによる推論：推論過程が不透明

理論言語学に基づく推論：推論の妥当性を保証する**証明図**を出力

理論言語学に基づく推論システム例

- ccg2lambda [Mineshima+ 2015]
- lightblue [Bekki and Kawazoe 2016]

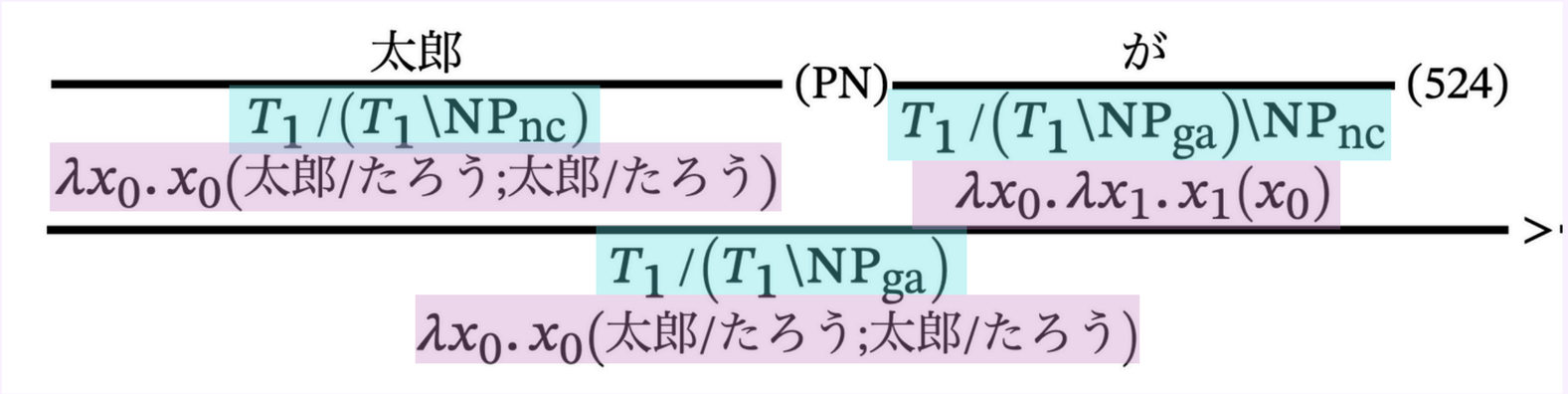
⋮

自動推論システム lightblue(1/4)

[Bekki and Kawazoe 2016]

- 文を入力すると**統語**・**意味**情報を出力することができる

「太郎が」の**統語範疇**・**意味**表示



組合せ範疇文法 (Combinatory Categorial Grammar; CCG)

[Steedman 1996] [Steedman 2000]

- lightblueの統語理論として採用

辞書

語とその統語情報や意味情報を関連付ける

Keats ⊢ NP
eats ⊢ (S\NP)/NP
apples ⊢ NP

＋

組合わせ規則

例：関数適用規則
　　関数合成規則

依存型意味論 (Dependent Type Semantics; DTS)

[Bekki 2014] [Bekki and Mineshima 2017]

- lightblueの意味理論として採用
- 依存型理論(Dependent Type Theory; DTT) [Martin-Löf 1984] に基づいた自然言語の意味論
- 自然言語の意味表示が依存型理論の型と対応する

「太郎がパンを食べた」の意味表示

$$\left[\begin{array}{l} u_0{:}\left[\begin{array}{l} u_1{:}\mathbf{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_2{:}\mathbf{entity} \\ パン/ぱん(u_2,u_1) \end{array}\right] \end{array}\right] \\ \left[\begin{array}{l} u_4{:}\mathbf{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_5{:}食べる/たべる/ガヲニ(u_4,太郎/たろう;太郎/たろう,\pi_1(u_0),@\mathbf{entity}) \\ \#タ(u_4) \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right]$$

自動推論システム lightblue(2/4)

[Bekki and Kawazoe 2016]

- 意味表示の整合性は型検査によって確かめることができる
  [Bekki and Sato 2015]

文の意味表示の型がtypeである(semantic felicity condition)か調べる

「太郎が走る」の型検査**証明図**の一部

$$\dfrac{\dfrac{}{\vdash \text{entity: type}}\,(\{\}\text{F}) \qquad \dfrac{\vdots}{\left[\begin{array}{l} x_0\text{: entity} \\ \text{走る/はしる/ガニ}(x_0, \text{太郎/たろう};\text{太郎/たろう}, x_0) \end{array}\right]\text{: type}}\,(\Sigma\text{F})}{\vdash \left[\begin{array}{l} x_0\text{: entity} \\ \text{走る/はしる/ガニ}(x_0, \text{太郎/たろう};\text{太郎/たろう}, x_0) \end{array}\right]\text{: type}}\,(\Sigma\text{F})$$

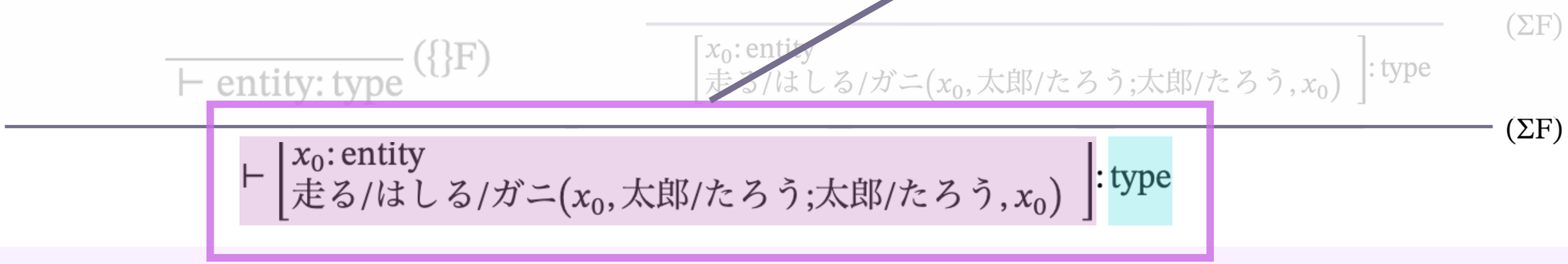
自動推論システム lightblue(2/4)

[Bekki and Kawazoe 2016]

- 意味表示の整合性は型検査によって確かめることができる
  [Bekki and Sato 2015]

文の意味表示の型がtypeである
(semantic felicity condition)
か調べる

「太郎が走る」の型検査証明図の一部



自動推論システム lightblue(3/4)

[Bekki and Kawazoe 2016]

- DTTの定理自動証明器wani [Daido and Bekki 2020]を呼び出し**証明探索**を行う
- 証明探索の結果、前提文と仮説文の間に含意関係や矛盾が証明できた場合は、推論結果とともにその**証明図**を出力する

$$s_0:\left[\begin{array}{l} u_0:\left[\begin{array}{l} x_0:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_1:\text{泣く/なく/ガ}(x_0,\text{花子/はなこ}) \\ \#\,\text{タ}(x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \\ \left[\begin{array}{l} x_1:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_3:\text{泣く/なく/ガ}(x_1,\text{太郎/たろう;太郎/たろう}) \\ \#\,\text{タ}(x_1) \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right] \vdash ?:\left[\begin{array}{l} x_2:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_5:\text{泣く/なく/ガ}(x_2,\text{太郎/たろう;太郎/たろう}) \\ \#\,\text{タ}(x_2) \end{array}\right] \end{array}\right]$$

1 proof diagrams found

自動推論システム lightblue(3/4)

[Bekki and Kawazoe 2016]

- DTTの定理自動証明器wani [Daido and Bekki 2020]を呼び出し**証明探索**を行う
- 証明探索の結果、前提文と仮説文の間に含意関係や矛盾が証明できた場合は、推論結果とともにその**証明図**を出力する

説明性を担保

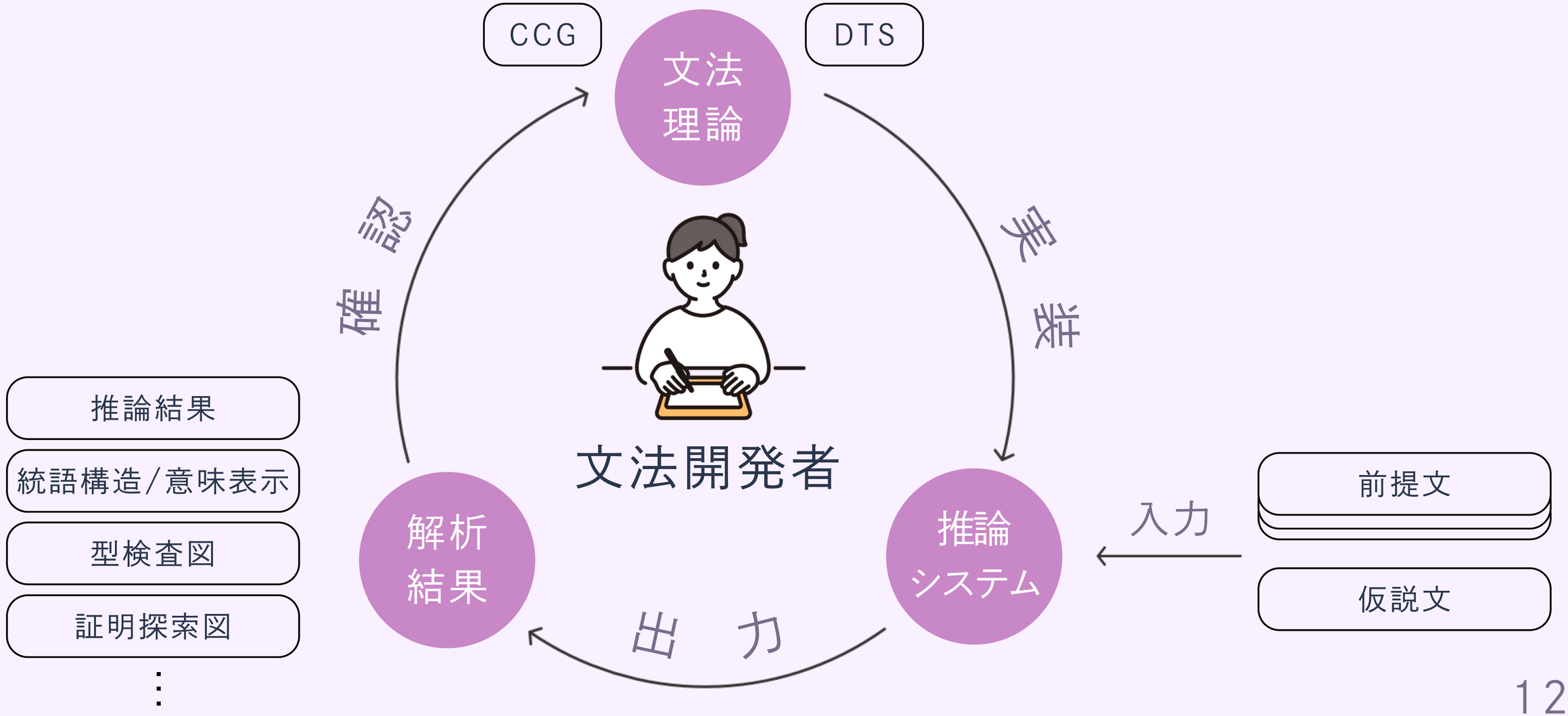
$$\dfrac{\dfrac{\vdots}{s_0:\left[\begin{array}{l} u_0:\left[\begin{array}{l} x_0:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_1:\text{泣く/なく/ガ}(x_0,\text{花子/はなこ}) \\ \#\text{タ}(x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \\ \left[\begin{array}{l} x_1:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_3:\text{泣く/なく/ガ}(x_1,\text{太郎/たろう;太郎/たろう}) \\ \#\text{タ}(x_1) \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right] \vdash \pi_2(\pi_2(\pi_2(\pi_2(s_0)))):\top}(\Sigma\text{E}) \quad \cdots \quad \dfrac{\dfrac{\vdots}{s_0:\left[\begin{array}{l} u_0:\left[\begin{array}{l} x_0:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_1:\text{泣く/なく/ガ}(x_0,\text{花子/はなこ}) \\ \#\text{タ}(x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \\ \left[\begin{array}{l} x_1:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_3:\text{泣く/なく/ガ}(x_1,\text{太郎/たろう;太郎/たろう}) \\ \#\text{タ}(x_1) \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right] \vdash \pi_1(\pi_2(s_0)):\text{entity}}(\Sigma\text{E})}{s_0:\left[\begin{array}{l} u_0:\left[\begin{array}{l} x_0:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_1:\text{泣く/なく/ガ}(x_0,\text{花子/はなこ}) \\ \#\text{タ}(x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \\ \left[\begin{array}{l} x_1:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_3:\text{泣く/なく/ガ}(x_1,\text{太郎/たろう;太郎/たろう}) \\ \#\text{タ}(x_1) \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right] \vdash (\pi_1(\pi_2(s_0)),(\pi_1(\pi_2(\pi_2(s_0))),(\pi_1(\pi_2(\pi_2(\pi_2(s_0)))),\pi_2(\pi_2(\pi_2(\pi_2(s_0)))))):\left[\begin{array}{l} x_2:\text{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_5:\text{泣く/なく/ガ}(x_2,\text{太郎/たろう;太郎/たろう}) \\ \#\text{タ}(x_2) \end{array}\right] \end{array}\right]}(\Sigma\text{I})$$

自動推論システム lightblue(4/4)

[Bekki and Kawazoe 2016]

- waniを接続することで、照応解決や前提束縛などを含む複雑な言語現象の解析を実現している

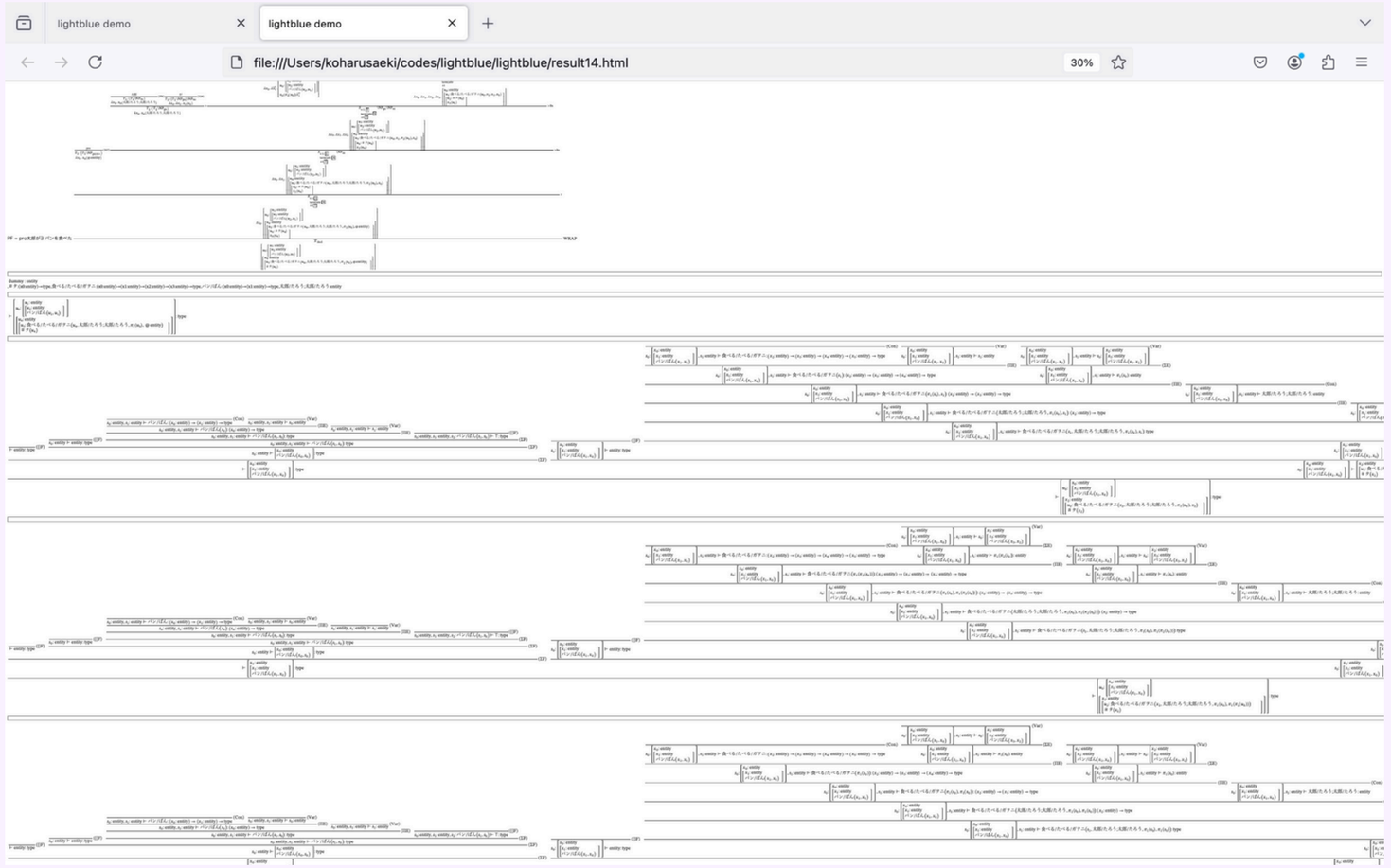
lightblueを通した文法開発の流れ



課題：文法開発における可視化

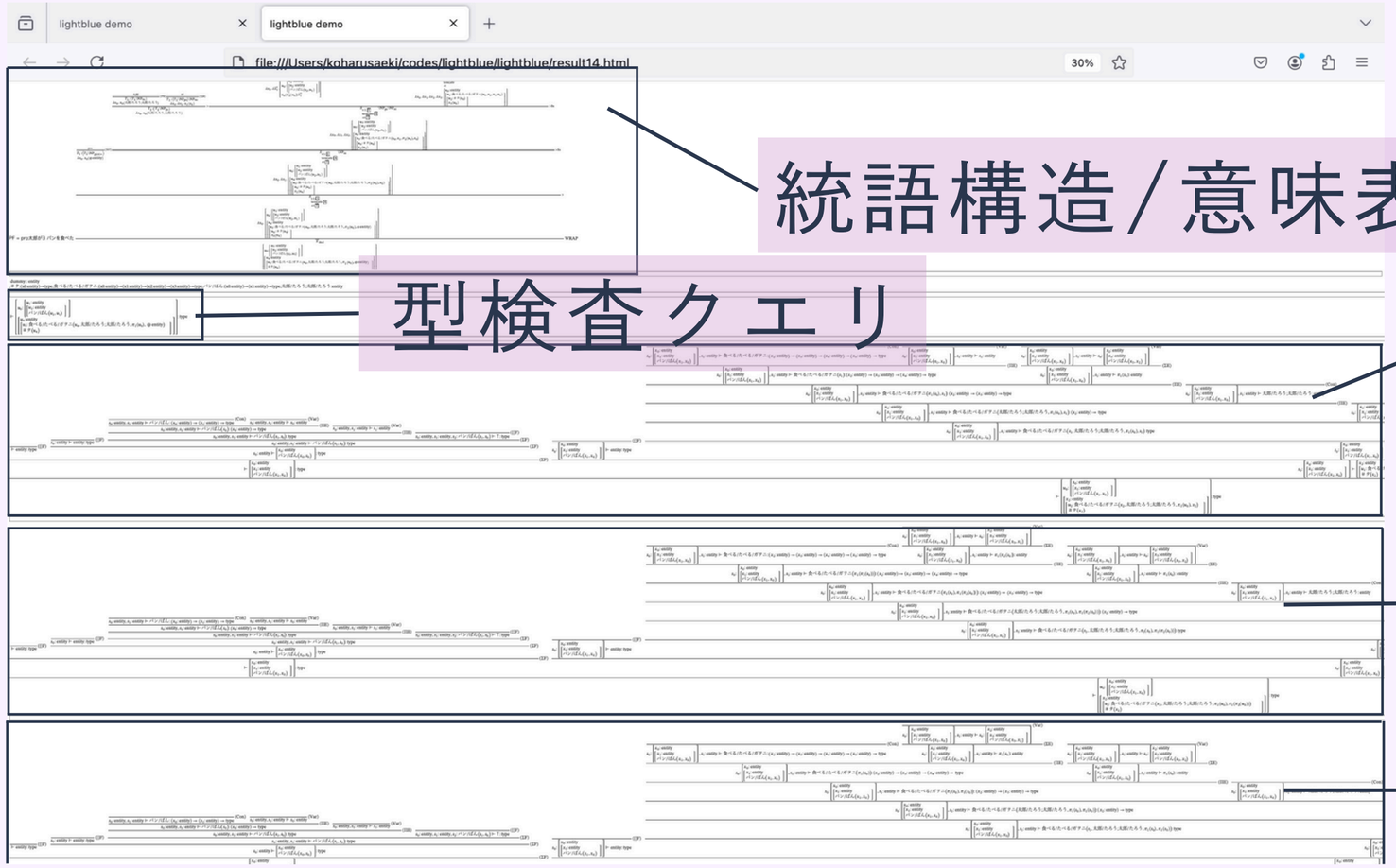
lightblue

HTML出力



課題：文法開発における可視化

型検査クエリ：意味表示の型がDTTにおけるtypeであるかという問い



統語構造/意味表示

型検査クエリ

型検査証明図①

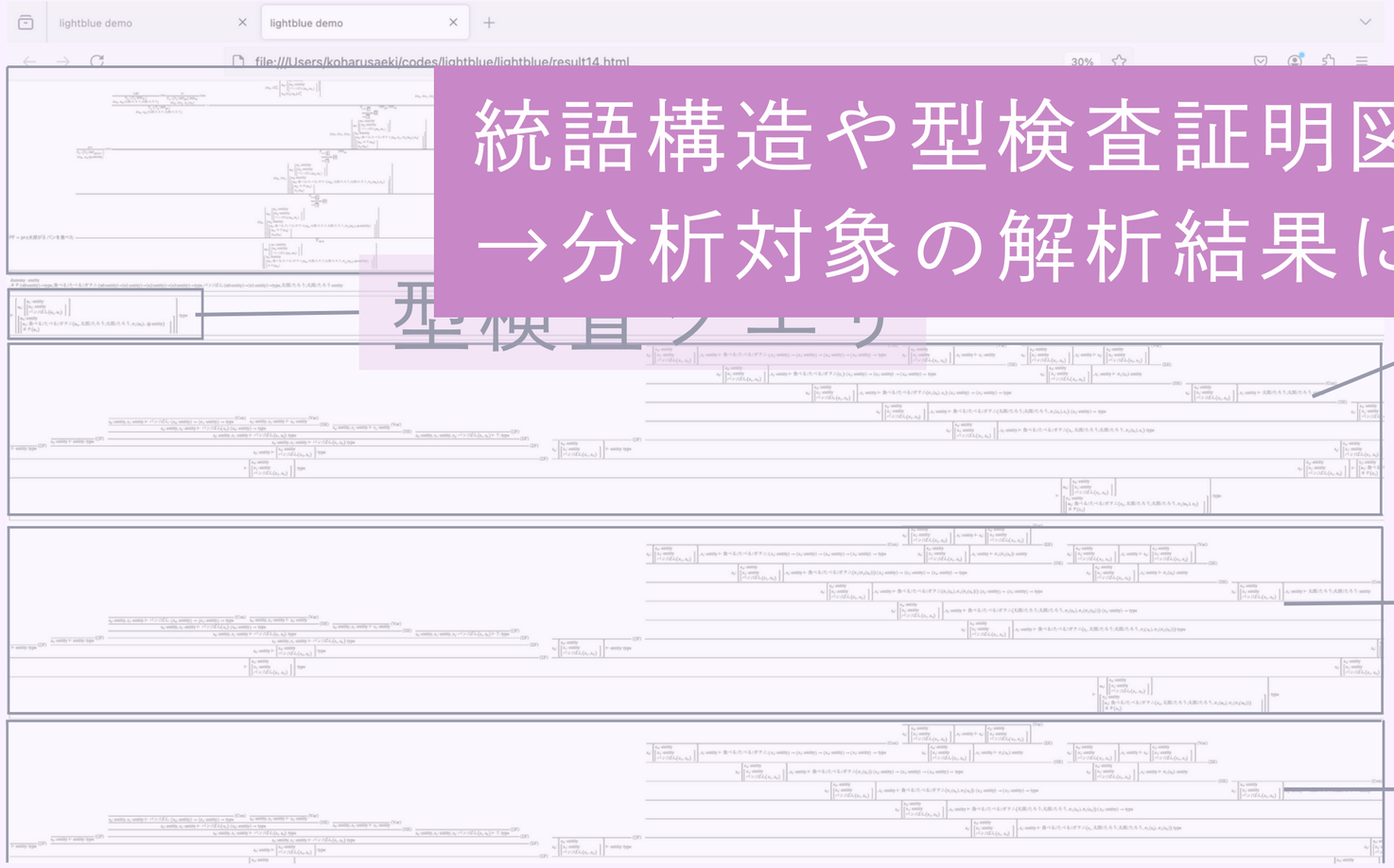
・・・

型検査証明図②

型検査証明図③

・
・
・

課題：文法開発における可視化(1/3)



統語構造や型検査証明図を一度に出力している
→分析対象の解析結果にアクセスしづらい

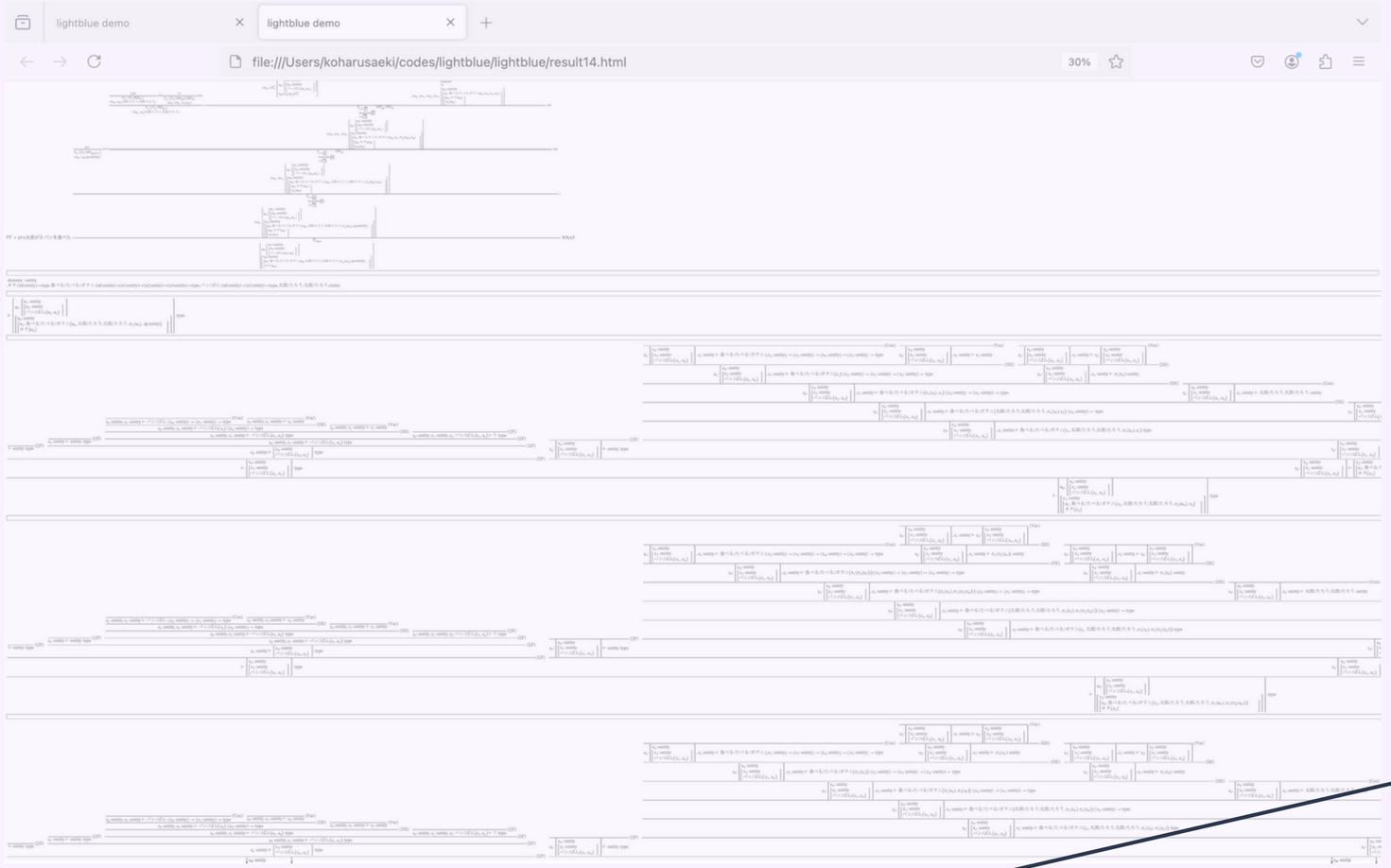
型検査クエリ

型検査証明図①

型検査証明図②

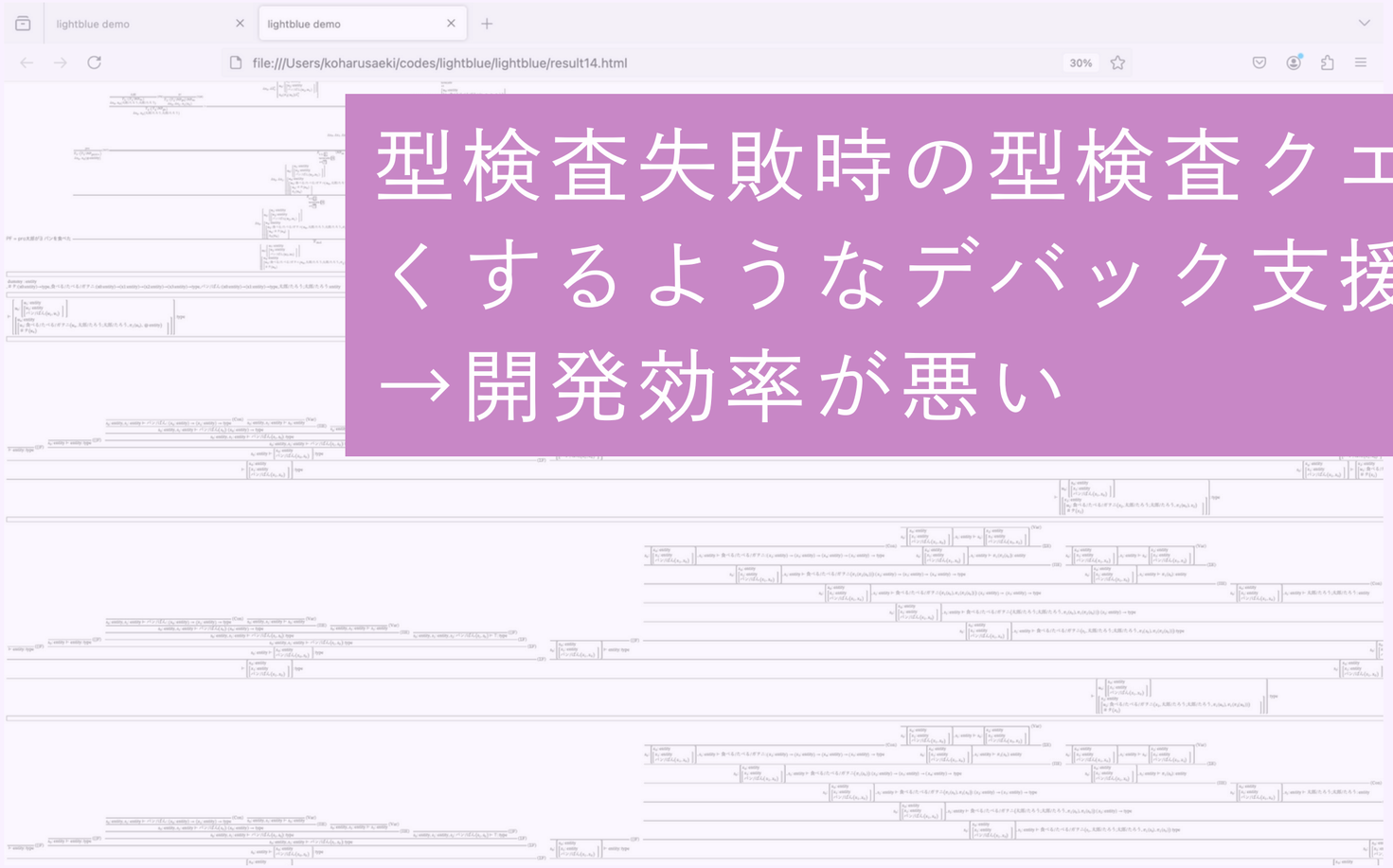
型検査証明図③

課題：文法開発における可視化(2/3)



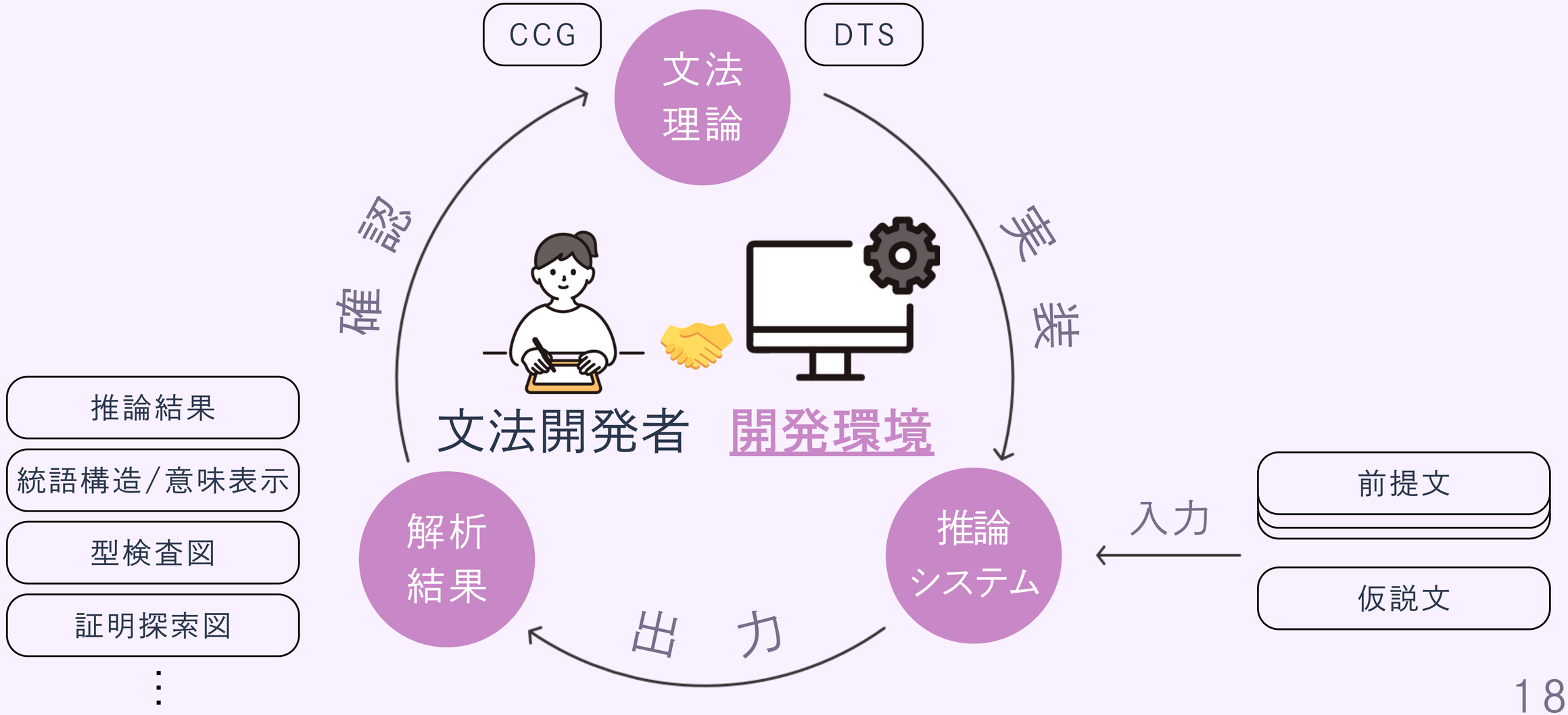
証明図などが画面に
入り切っていない
→構造を把握しづらい

課題：文法開発における可視化(3/3)



型検査失敗時の型検査クエリにアクセスしやすくするようなデバック支援機能がない
→開発効率が悪い

目的：lightblueを通した文法開発環境の発展



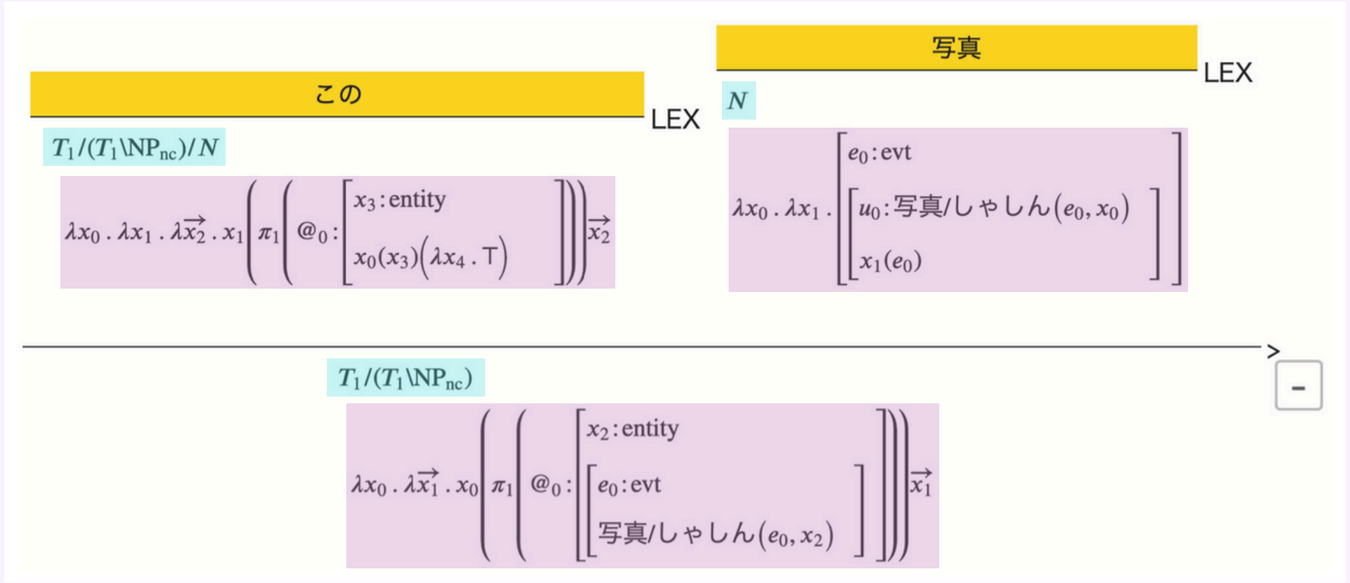
02

先行研究

express[石嶋&戸次 2021]

- GUIを備えたlightblue開発環境
- 日本語意味論のテストセット JSeM [Kawazoe et al. 2015]の文の統語範疇・意味表示をブラウザ上に表示

「この写真」の統語範疇と意味表示



express[石嶋&戸次 2021]

- 実装にはプログラミング言語HaskellのWebアプリケーションフレームワーク**Yesod** [Snoyman M 2015]を用いている

→Haskellファイル内でHTML/CSS/JavaScriptを生成できる

PMB(Parallel Meaning Bank) Explorer

[Lasha Abzianidze+ 2017]

- PMBにアクセスするためのWebインタフェース
  →ユーザは**視認性高く**文の統語構造にアクセスできる

- 統語理論にCCGを、意味計算に談話表示理論 (Discourse Representation Theory; DRT) [Hans Kamp 1981] を採用

▶PMB

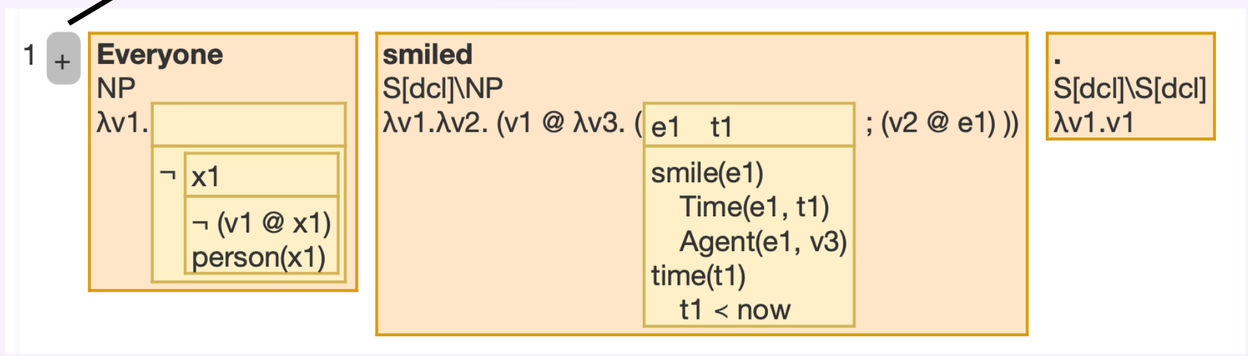
…パブリックドメインのテキストからなる統語・意味情報付きの大規模コーパス

PMB(Parallel Meaning Bank) Explorer

[Lasha Abzianidze+ 2017]

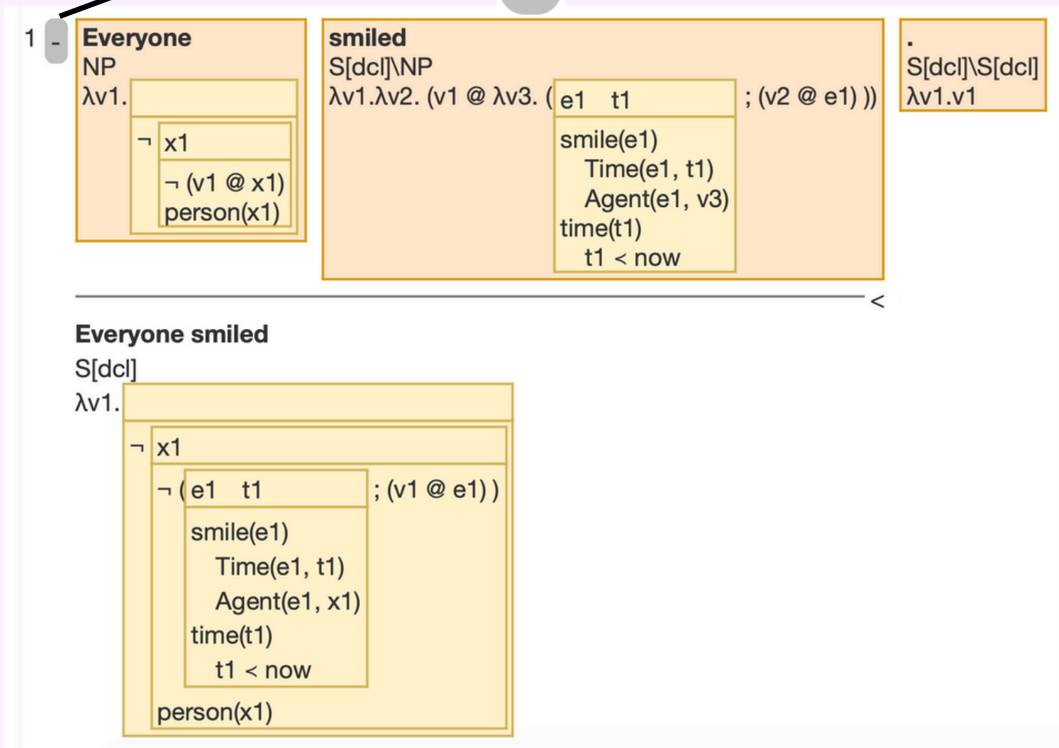
統語・意味情報の可視化・折り畳み機能

＋ボタン



－ボタンで折り畳んだ状態

－ボタン



＋ボタンで展開した状態

PMB(Parallel Meaning Bank) Explorer

[Lasha Abzianidze+ 2017]

Bits Of Wisdom(専門家による誤った統語・意味情報の手動修正)

raw | tokens | syntax | semantics | 6 bits of wisdom | 0 warnings | metadata

BOW statistics

By category

cat1	cat2	#
tag	super	3
tag	semtag	3

By source

source	#
yuyamaguchi	6

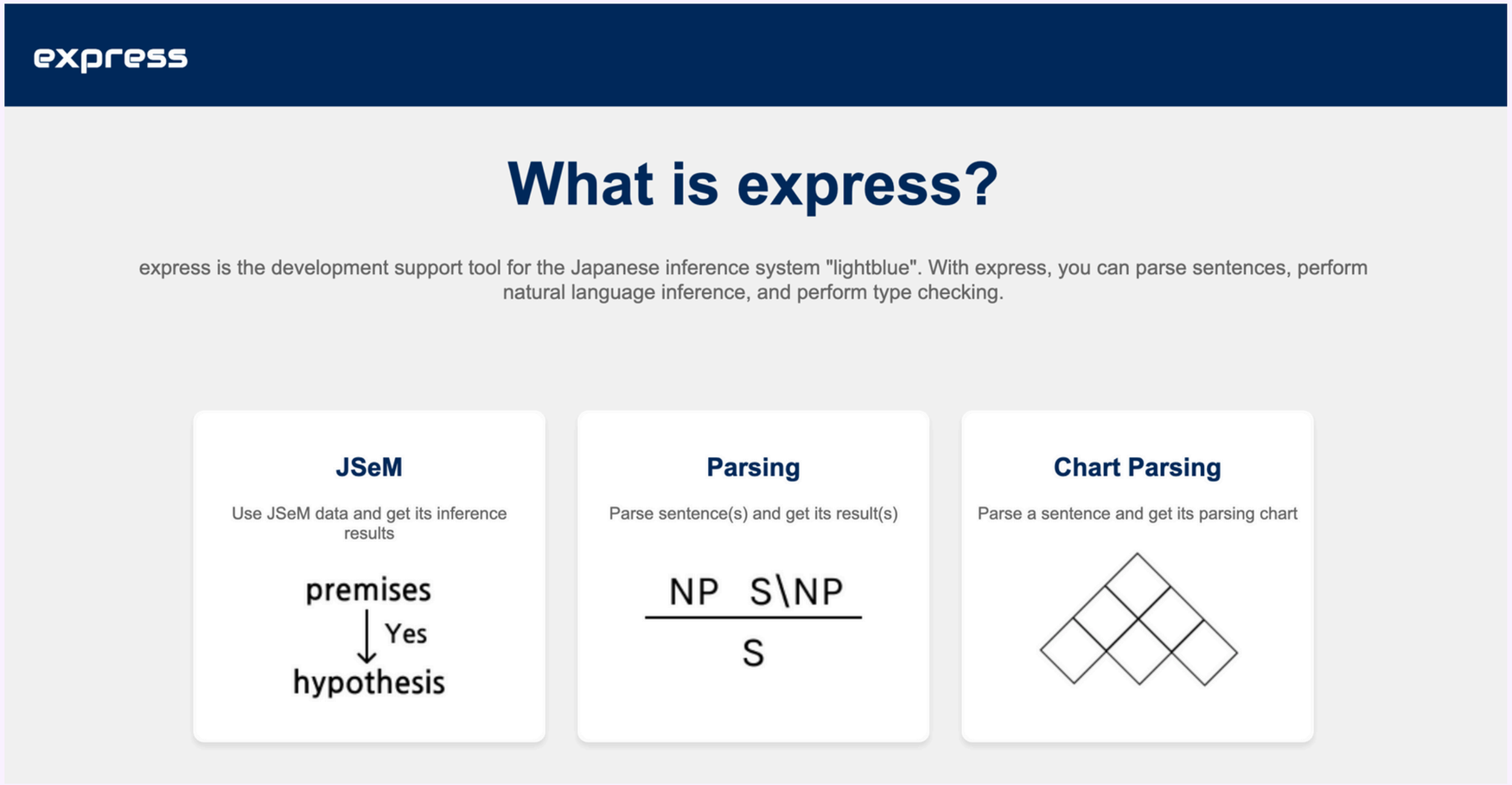
BOWs

time ▼	mode	user	cat1	cat2	lang	content
2019-12-22 20:48:58	manual	yuyamaguchi	tag	super	ja	token 1002 (が) at <1,2> has super tag: NP[ga]\NP[nc]
2019-12-14 09:45:21	manual	yuyamaguchi	tag	super	ja	token 1005 (の) at <5,6> has super tag: S
2019-12-14 09:45:21	manual	yuyamaguchi	tag	super	ja	token 1002 (が) at <1,2> has super tag: (S/(S\NP[ga]))\NP[nc]
2019-11-02 09:34:37	manual	yuyamaguchi	tag	semtag	ja	token 1002 (が) at <1,2> has semtag tag: NIL
2019-11-02 09:33:12	manual	yuyamaguchi	tag	semtag	ja	token 1003 (勝っ) at <2,4> has semtag tag: EXS
2019-11-02 09:33:12	manual	yuyamaguchi	tag	semtag	ja	token 1004 (た) at <4,5> has semtag tag: PST

03

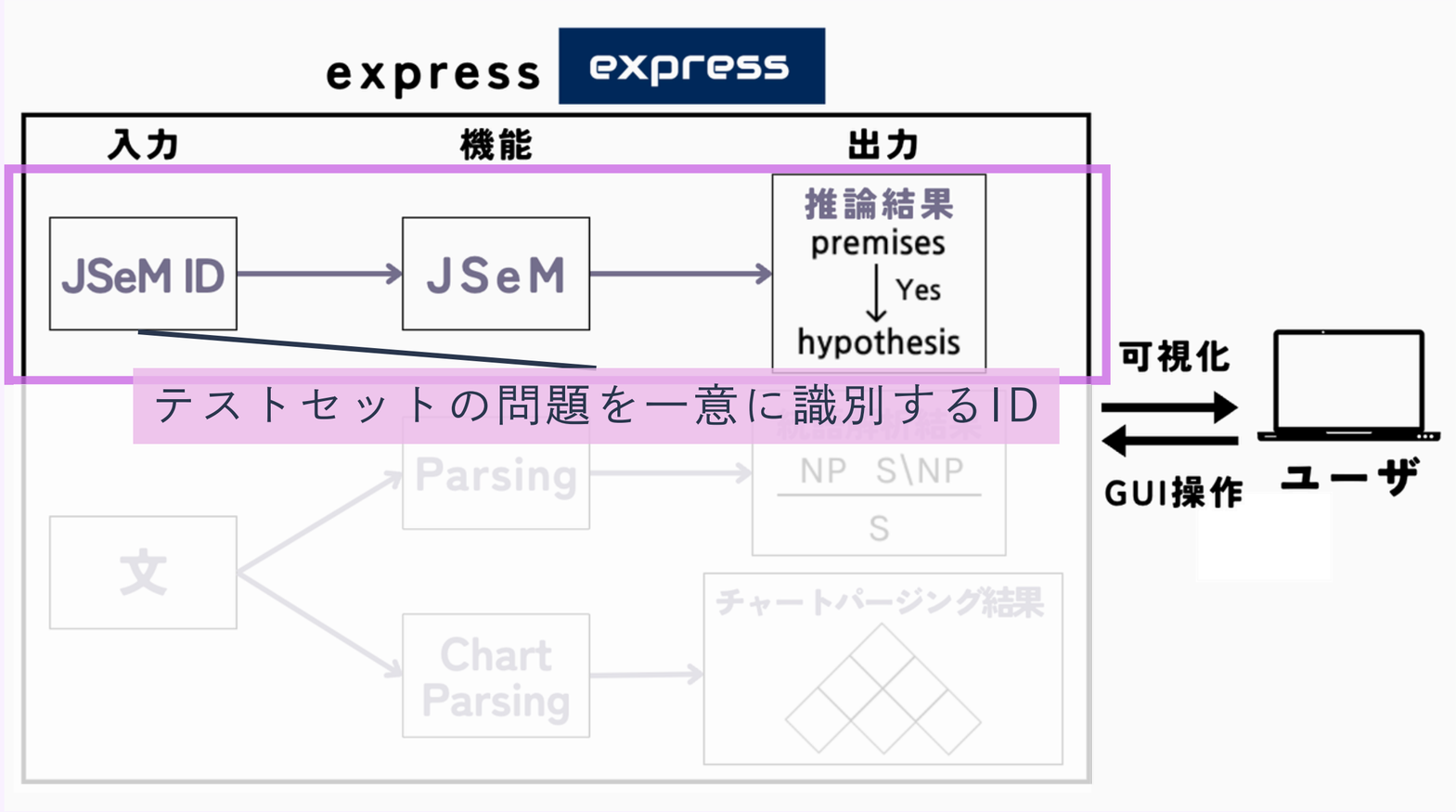
提案手法

expressの機能



expressのメニュー画面

パイプライン



expressの実装パイプライン

・JSeM

JSeM を用いたNLI 結果の可視化

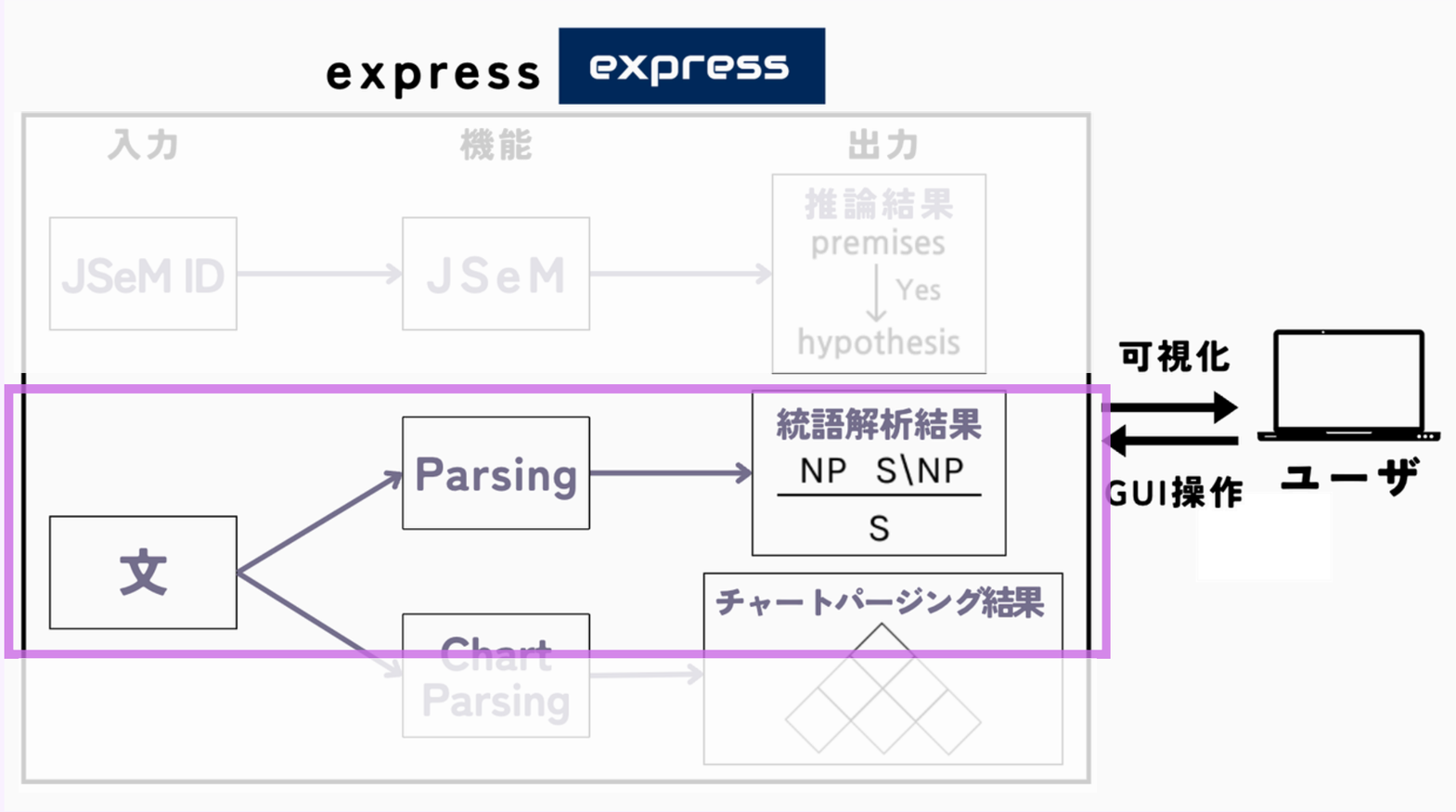
・Parsing

入力文の統語解析，型検査結果の可視化

・ChartParsing

チャートパージングの計算過程の可視化

パイプライン



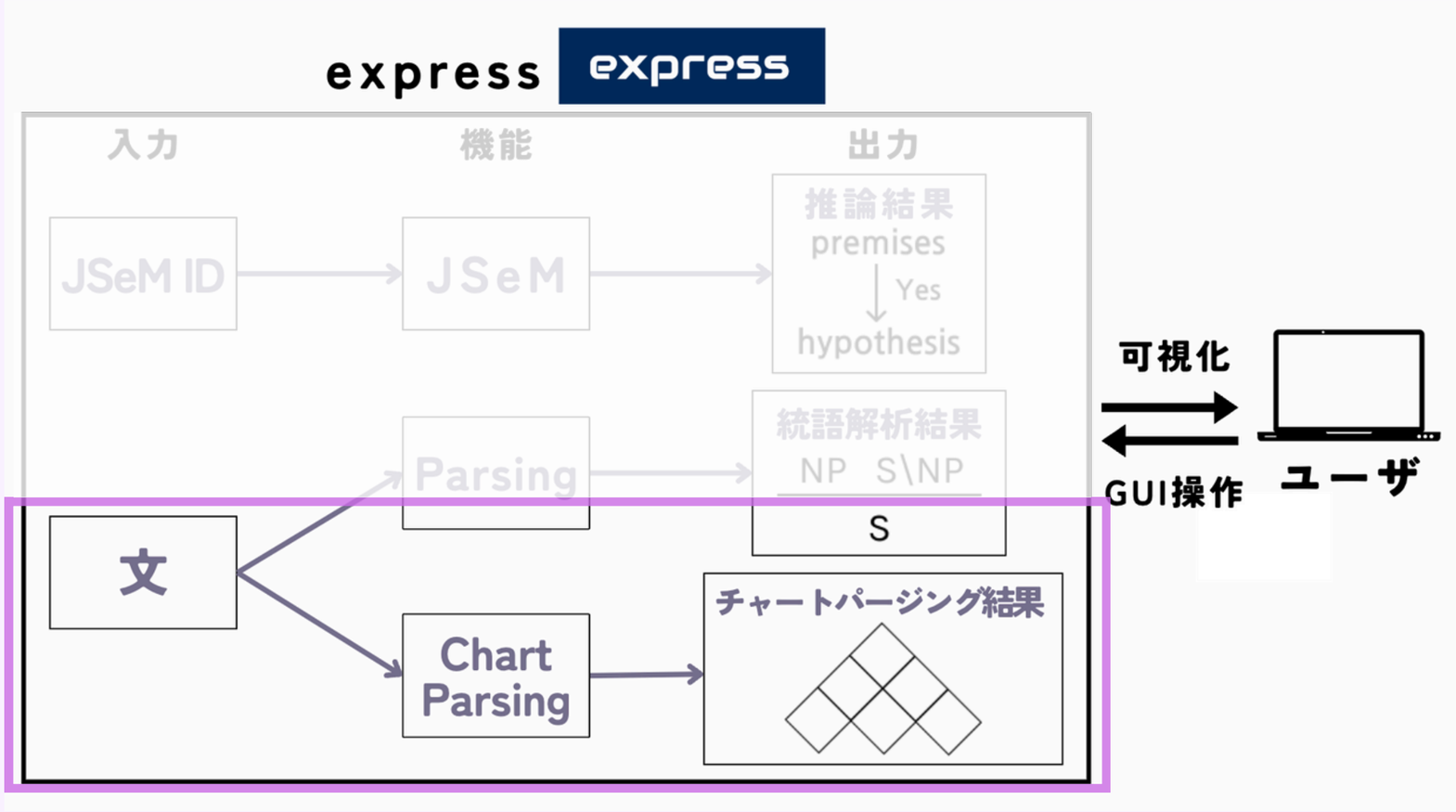
expressの実装パイプライン

・JSeM
JSeM を用いたNLI 結果の可視化

・Parsing
入力文の統語解析，型検査結果の可視化

・ChartParsing
チャートパージングの計算過程の可視化

パイプライン

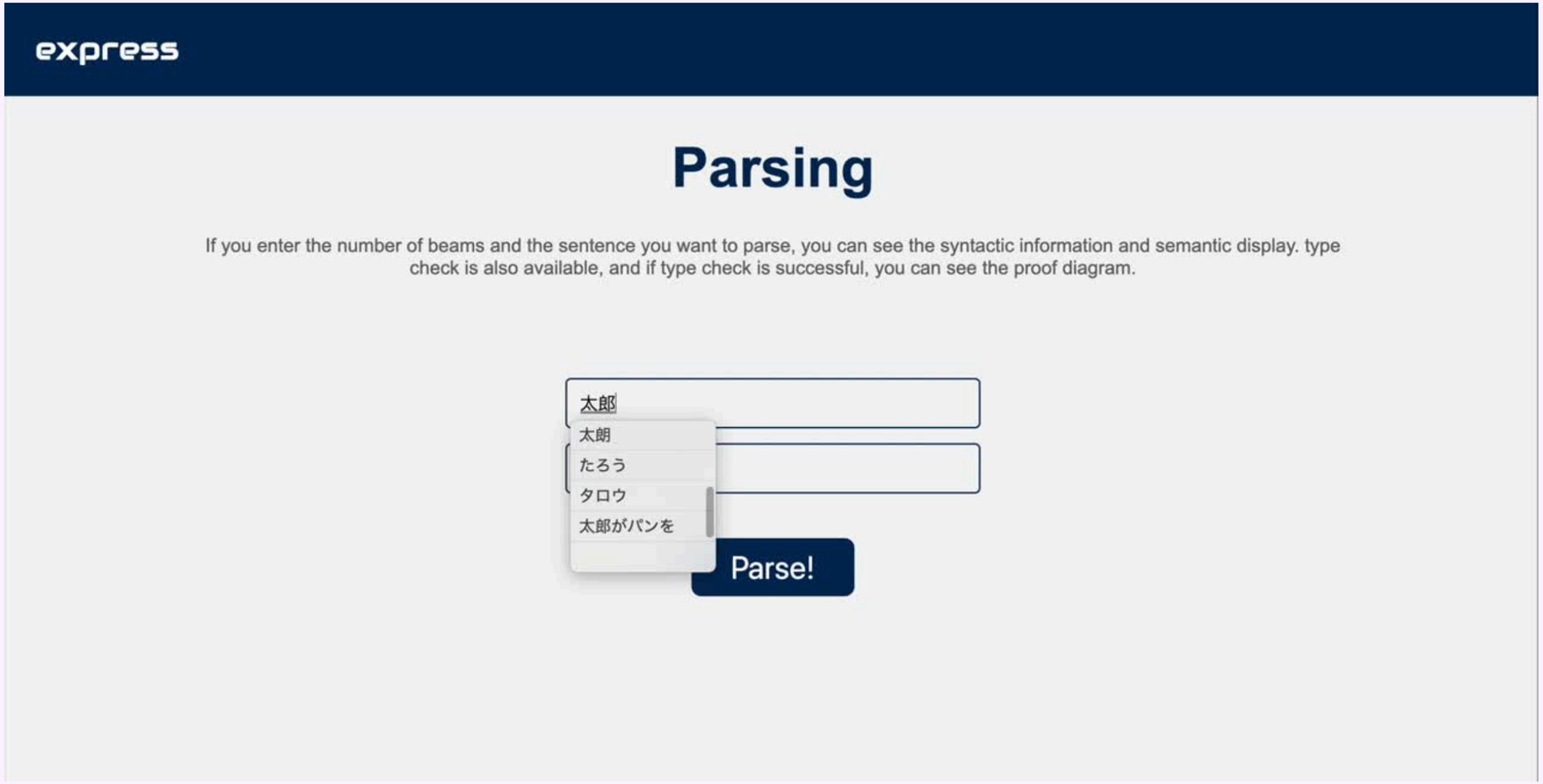


expressの実装パイプライン

・JSeM
JSeM を用いたNLI 結果の可視化
・Parsing
入力文の統語解析，型検査結果の可視化
・ChartParsing
チャートパージングの計算過程の可視化

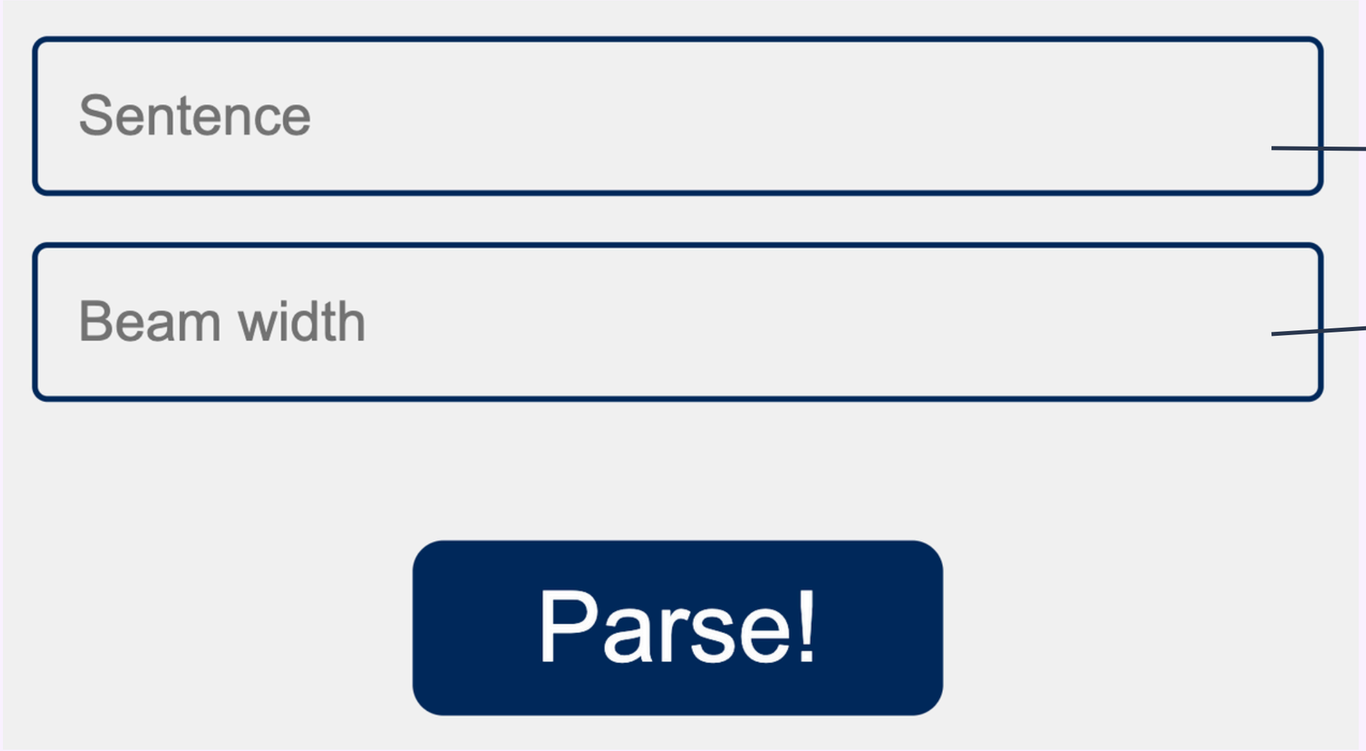
expressの機能(1/4)

1. 入力文の統語・意味情報の可視化



expressの機能(1/4)

1. 入力文の統語・意味情報の可視化



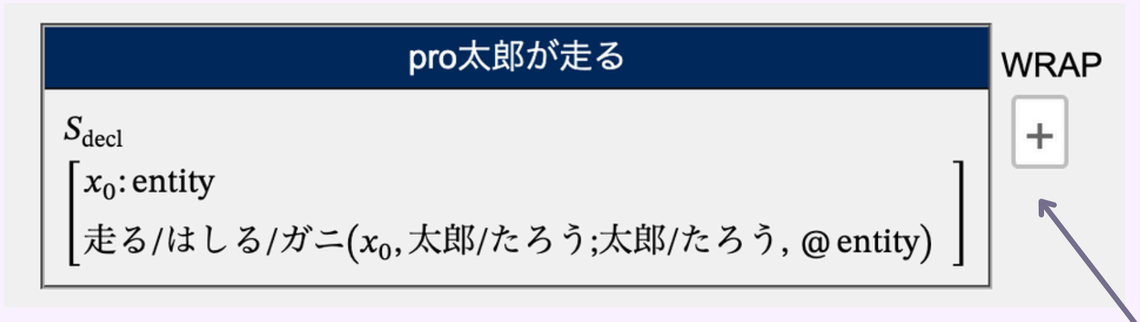
入力フォーム

解析したい日本語文

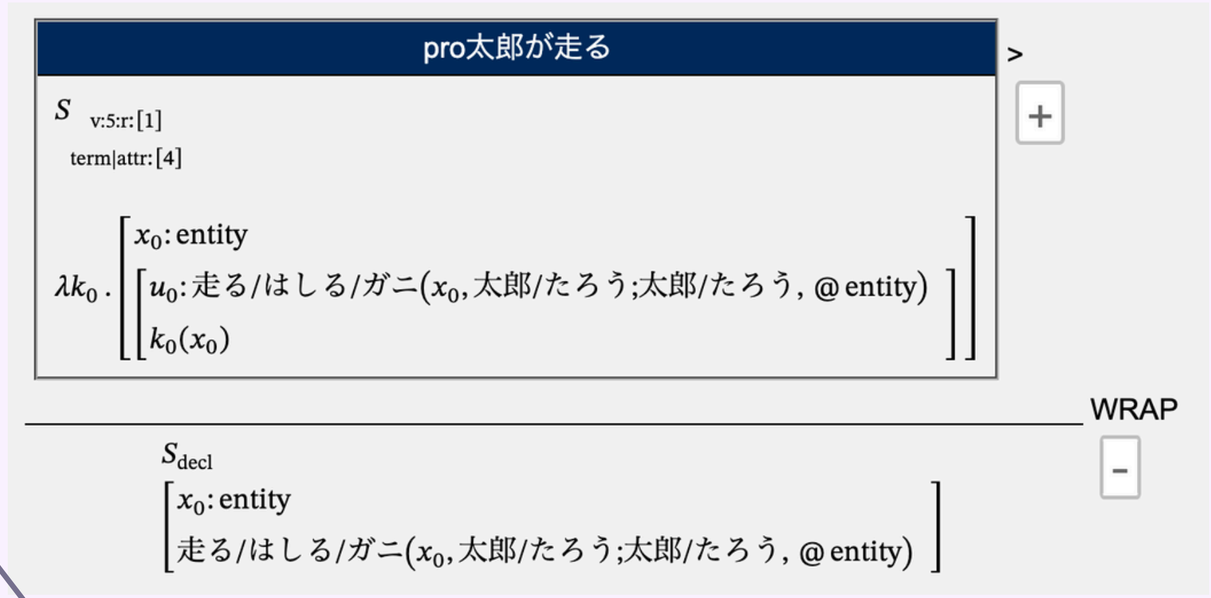
Beam幅：統語解析結果の複数通りの出力のうち上位何個出力するか

expressの機能(1/4)

1.入力文の統語・意味情報の可視化



初期状態



＋ボタンで展開した状態

expressの機能(2/4)

2. 型検査証明図の可視化

→文の意味表示の整合性を確認する

$$\dfrac{\vdash \left[\begin{array}{l} x_0 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} x_1 : \mathrm{entity} \\ パン/ぱん(x_1, x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] : \mathrm{type} \ (\Sigma \mathrm{F}) + \quad s_0 : \left[\begin{array}{l} x_0 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} x_1 : \mathrm{entity} \\ パン/ぱん(x_1, x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \vdash \left[\begin{array}{l} x_2 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_1 : 食べる/たべる/ガヲニ(x_2, 太郎/たろう;太郎/たろう, \pi_1(s_0), x_2) \\ \#タ(x_2) \end{array}\right] \end{array}\right] : \mathrm{type} \ (\Sigma \mathrm{F}) +}{\vdash \left[\begin{array}{l} u_0 : \left[\begin{array}{l} x_0 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} x_1 : \mathrm{entity} \\ パン/ぱん(x_1, x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \\ \left[\begin{array}{l} x_2 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_2 : 食べる/たべる/ガヲニ(x_2, 太郎/たろう;太郎/たろう, \pi_1(u_0), x_2) \\ \#タ(x_2) \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right] : \mathrm{type}} \ (\Sigma \mathrm{F}) -$$

「太郎がパンを食べた」の型検査結果の一部を折り畳んだもの

expressの機能(2/4)

2. 型検査証明図の可視化

BEFORE

AFTER

$$\dfrac{\vdash \left[\begin{array}{l} x_0 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} x_1 : \mathrm{entity} \\ パン/ぱん(x_1, x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] : \mathrm{type} \quad (\Sigma \mathrm{F})\ + \qquad s_0 : \left[\begin{array}{l} x_0 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} x_1 : \mathrm{entity} \\ パン/ぱん(x_1, x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \vdash \left[\begin{array}{l} x_2 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_1 : 食べる/たべる/ガヲニ(x_2, 太郎/たろう;太郎/たろう, \pi_1(s_0), x_2) \\ \#タ(x_2) \end{array}\right] \end{array}\right] : \mathrm{type} \quad (\Sigma \mathrm{F})\ +}{\vdash \left[\begin{array}{l} u_0 : \left[\begin{array}{l} x_0 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} x_1 : \mathrm{entity} \\ パン/ぱん(x_1, x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \\ \left[\begin{array}{l} x_2 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_2 : 食べる/たべる/ガヲニ(x_2, 太郎/たろう;太郎/たろう, \pi_1(u_0), x_2) \\ \#タ(x_2) \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right] : \mathrm{type}} \quad (\Sigma \mathrm{F})\ -$$

expressの機能(2/4)

2. 型検査証明図の可視化

BEFORE

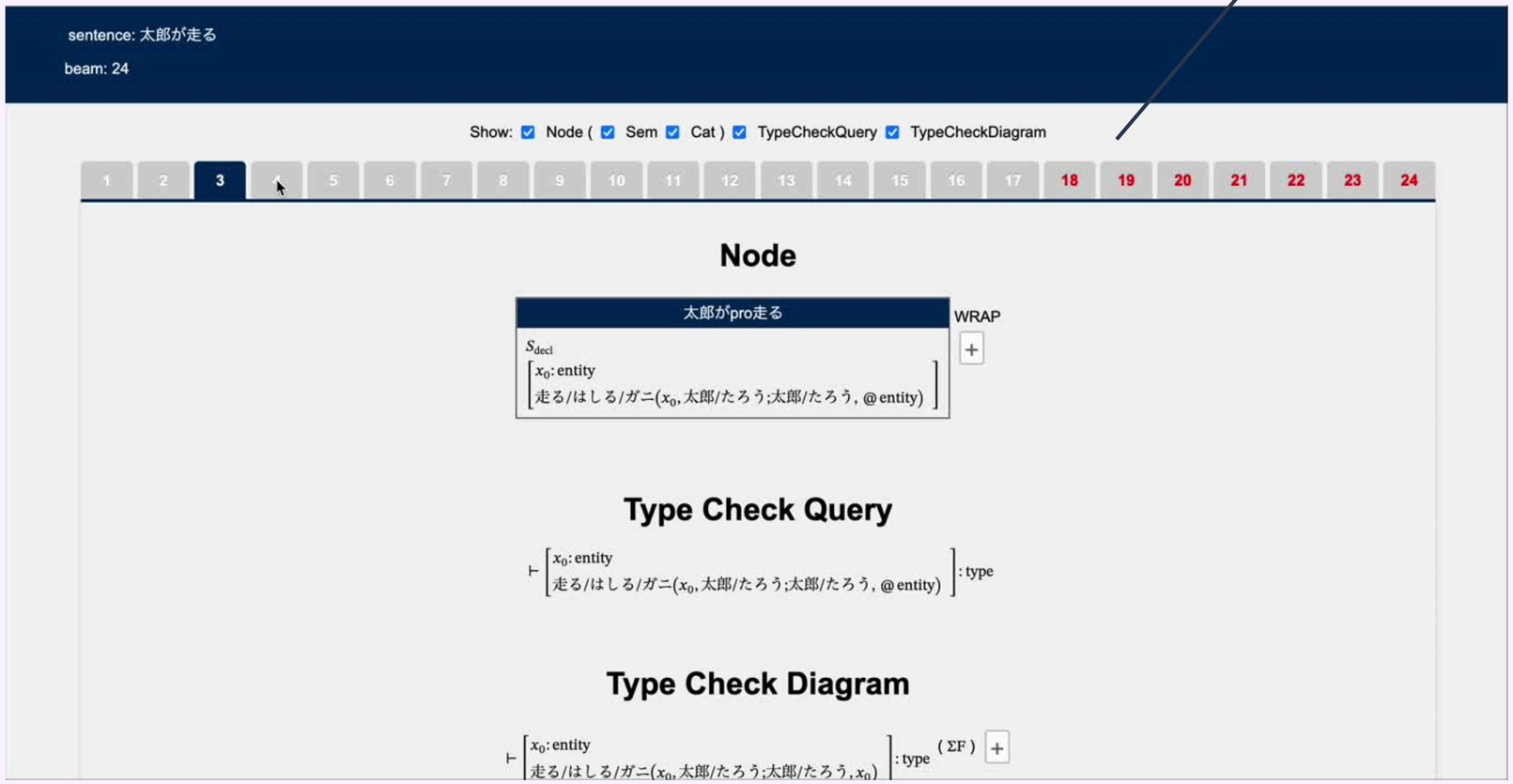
AFTER

$$\dfrac{\vdash \left[\begin{array}{l} x_0 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} x_1 : \mathrm{entity} \\ パン/ぱん(x_1, x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] : \mathrm{type} \quad (\Sigma \mathrm{F}) + \qquad s_0 : \left[\begin{array}{l} x_0 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} x_1 : \mathrm{entity} \\ パン/ぱん(x_1, x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \vdash \left[\begin{array}{l} x_2 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_1 : 食べる/たべる/ガヲニ(x_2, 太郎/たろう;太郎/たろう, \pi_1(s_0), x_2) \\ \#タ(x_2) \end{array}\right] \end{array}\right] : \mathrm{type} \quad (\Sigma \mathrm{F}) +}{\vdash \left[\begin{array}{l} u_0 : \left[\begin{array}{l} x_0 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} x_1 : \mathrm{entity} \\ パン/ぱん(x_1, x_0) \end{array}\right] \end{array}\right] \\ \left[\begin{array}{l} x_2 : \mathrm{entity} \\ \left[\begin{array}{l} u_2 : 食べる/たべる/ガヲニ(x_2, 太郎/たろう;太郎/たろう, \pi_1(u_0), x_2) \\ \#タ(x_2) \end{array}\right] \end{array}\right] \end{array}\right] : \mathrm{type}} \quad (\Sigma \mathrm{F}) -$$

expressの機能(3/4)

3. 型検査失敗時の表示

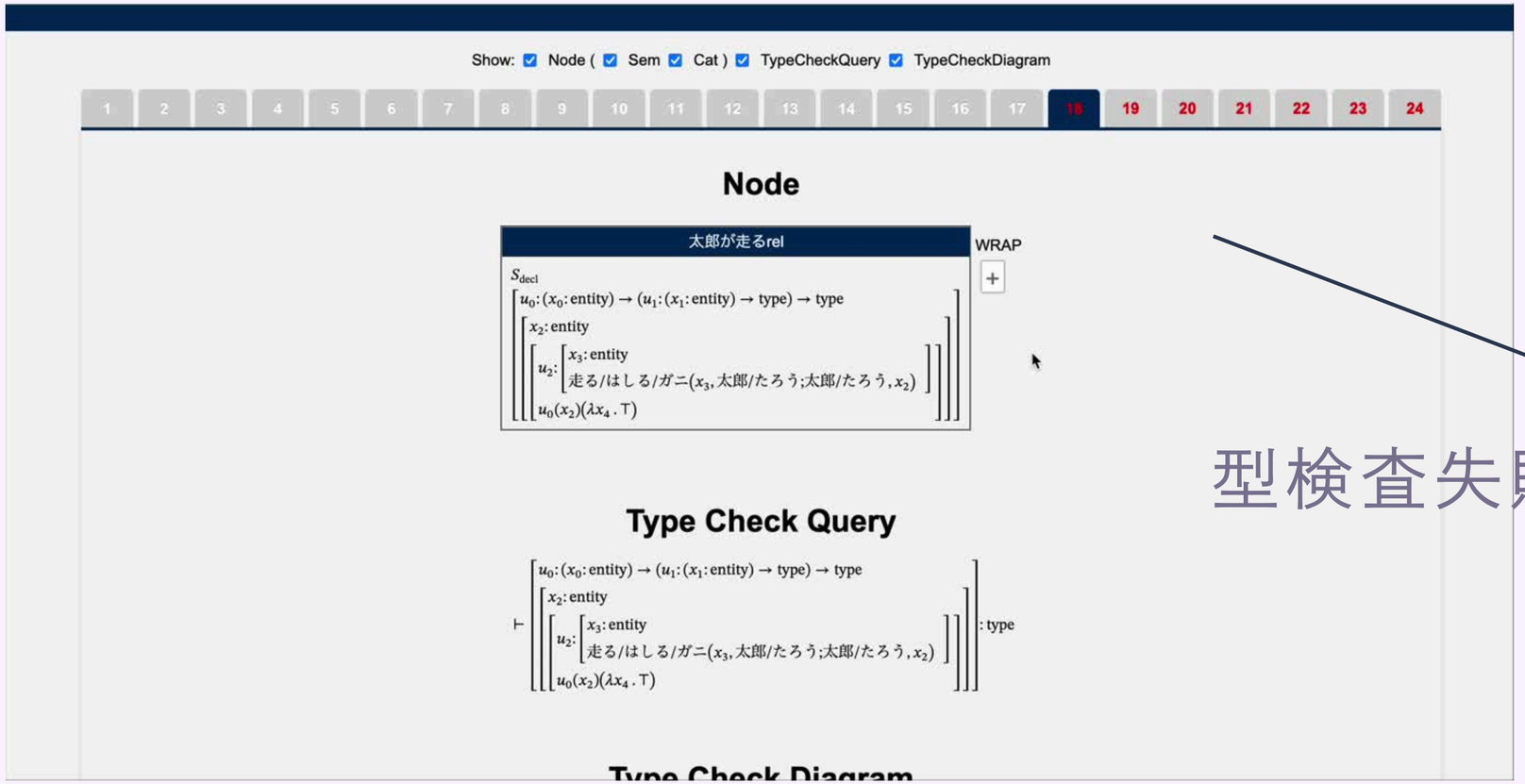
複数の解析結果を
タブ形式で切り替えて確認



型検査失敗時の表示

expressの機能(3/4)

3. 型検査失敗時の表示



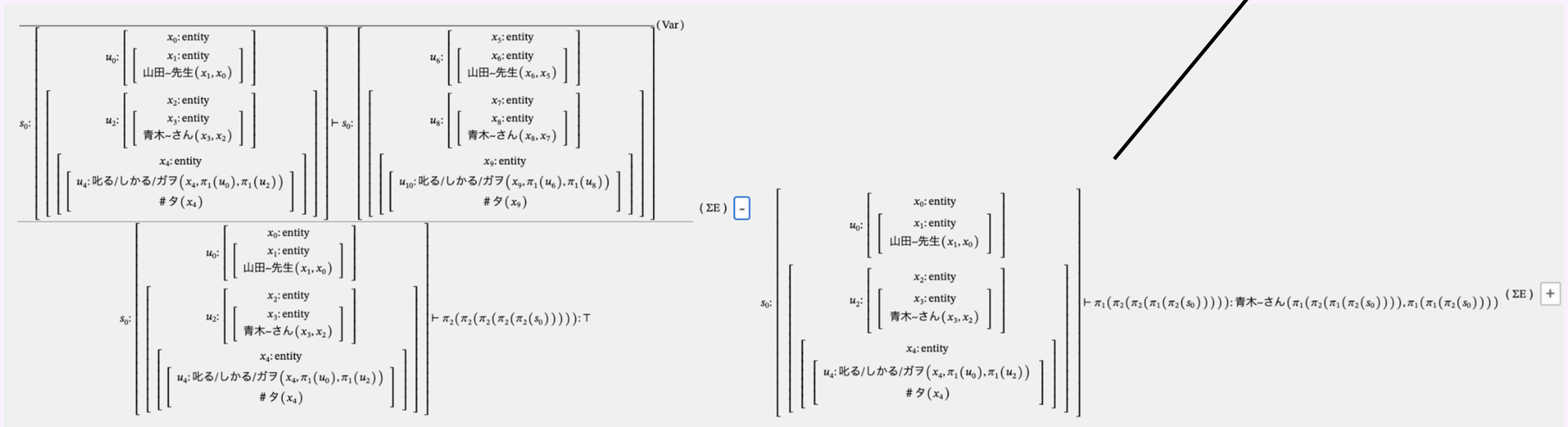
型検査失敗時にはタブを赤色に

型検査失敗時の表示

expressの機能(4/4)

4. 推論証明図の可視化

前提文「山田先生が青木さんを叱った。」
仮説文「青木さんが山田先生に叱られた。」
における推論証明図の一部を折り畳んだ構造



04

今後の展望

今後の展望

手動修正機能の実装

raw | tokens | syntax | semantics | 6 bits of wisdom | 0 warnings | metadata

BOW statistics

By category

cat1	cat2	#
tag	super	3
tag	semtag	3

By source

source	#
yuyamaguchi	6

BOWs

time ▼	mode	user	cat1	cat2	lang	content
2019-12-22 20:48:58	manual	yuyamaguchi	tag	super	ja	token 1002 (が) at <1,2> has super tag: NP[ga]\NP[nc]
2019-12-14 09:45:21	manual	yuyamaguchi	tag	super	ja	token 1005 (の) at <5,6> has super tag: S
2019-12-14 09:45:21	manual	yuyamaguchi	tag	super	ja	token 1002 (が) at <1,2> has super tag: (S/(S\NP[ga]))\NP[nc]
2019-11-02 09:34:37	manual	yuyamaguchi	tag	semtag	ja	token 1002 (が) at <1,2> has semtag tag: NIL
2019-11-02 09:33:12	manual	yuyamaguchi	tag	semtag	ja	token 1003 (勝っ) at <2,4> has semtag tag: EXS
2019-11-02 09:33:12	manual	yuyamaguchi	tag	semtag	ja	token 1004 (た) at <4,5> has semtag tag: PST

PMB Explorerの手動修正機能

05

まとめ

まとめ

Web アプリケーションフレームワークYesod を用いて、GUI を備えたlightblue 開発システム express を改良した

- 型検査、自然言語推論の証明図の可視化が可能になった
- 文法開発に関わるユーザの解析効率や解析結果の視認性を上げるような、証明図一部の折り畳み／展開機能や、型検査失敗時にはそのことを表示をする機能を実装した

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP23H03452 の助成を受けたものです

参考文献

- Koji Mineshima, Pascual Mart´ınez-G´omez, Yusuke Miyao, and Daisuke Bekki. Higher-order logical inference with compositional semantics. In Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, pp. 2055–2061, Lisbon, Portugal, September 2015. Association for Computational Linguistics.
- Lasha Abzianidze , Johannes Bjerva , Kilian Evang , Hessel Haagsma , Rik van Noord , Pierre Ludmann , Duc-Duy Nguyen and Johan Bos. The Parallel Meaning Bank: Towards a Multilingual Corpus of Translations Annotated with Compositional Meaning Representations. In Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics (EACL), pp 242–247, 2017
- Valerio Basile and Johan Bos and Kilian Evang and Noortje Venhuizen. A platform for collaborative semantic annotation. In Conference: Proceedings of the Demonstrations at the 13th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics (EACL), 2012.
- Daisuke Bekki and Ai Kawazoe. Implementing variable vectors in a CCG parser. pp. 52–67, 12 2016.
- Snoyman M. Developing Web Apps with Haskell and Yesod, Second Edition. O'Reilly Media, Inc, 2nd edition, 2015
- Hans Kamp. A theory of truth and semantic representation. In Formal Methods in the Study of Language, pp. 277–322, 1981.
- Mark Steedman. The Syntactic Process. MIT Press, 2000.
- Daisuke Bekki and Koji Mineshima. Context-passing and un-derspecification in Dependent Type Semantics. In Mod-ern Perspectives in Type Theoretical Semantics, page 33. Springer, 2017.
- Misaki Ishijima and Daisuke Bekki. Yesodによる日本語CCGパーザ開発環境の構築. In The 35th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2021.
- Per Martin-Löf. Intuition Type Theory, Bibliopolis, Naples. 1984.
- Ai Kawazoe, Ribeka Tanaka, Koji Mineshima, and Daisuke Bekki. An inference problem set for evaluating semantic theories and semantic processing systems for japanese. In the 17th International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics (LENLS12), pp. 67–73, 2015.