

露 日 機 械 翻 訳 の 研 究

岡本哲也(電気通信大学) 吉見毅彦(シャープ株式会社)
中野まり子(国際データシステム株式会社)
田中まづる(日本コンベンション株式会社)

近い将来の実用を目指し、屈折と呼応が複雑で、語順の自由なロシア語の機械翻訳に関する研究の一つとして、人間による翻訳・訳文編集を支援する立場から、翻訳者・編集者の言語外の知識と言語知識---ロシア語以外の外国語、例えば、英語に関する知識を前提として、意味・文脈情報を用いず、文法情報だけに基づく規則で翻訳した結果をどの程度人間が理解できるかを評価し、処理が不十分な場合でも計算機が処理できなかった問題点を人間に明示し、一通りの訳文を得ることを人間に委ねる方法の検討を行なっている。

本稿では、支援システムへの応用を前提としたロシア語の単文・複文にわたる構文規則と訳文生成規則を作り、ポピュラサイエンスの記事と情報処理の抄録からの標本に基づくPROLOGによる予備実験を行なった結果を報告する。

MACHINE TRANSLATION FROM RUSSIAN TO JAPANESE

Tetsuya OKAMOTO

University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofu-si, Tokyo, Japan

Takehiko YOSIMI (Sharp Co.,Ltd.) Mariko NAKANO(Kokusai Data System Co.,Ltd.)
Maduru TANAKA(Japan Convention Service Co.,Ltd.)

A preliminary study was made of machine-aided human translation from Russian to Japanese and an experimental system in Prolog was tested on a small sample from popular science text and abstract journals for informatics. Dictionary, morphological analysis, multiple syntactic analysis and sentence generation were described briefly. An approach to the problem of machine aid to human translation was discussed.

1 はじめに

わが国における機械翻訳の研究は、語順の自由度や語形変化に乏しい英語を対象にしたものが多く、屈折と呼応が複雑で、語順の自由なロシア語の機械翻訳に関する研究は、筆者らの知る限り、科学論文のタイトルを対象とした研究^[1]と単文を対象とした研究^[2]だけである。

近年、自然言語の理解には単に文法的知識だけでなく、意味・文脈その他に関する情報も必要であることが指摘されているが、ごく近い将来の実用を目標とする限り、これらの知識の有効な利用は容易ではない。

我々は、人間による翻訳・訳文編集を支援する立場から、翻訳者の言語外の知識と言語知識---ロシア語以外の外国語、例えば、英語に関する知識を前提として、文法情報だけに基づく規則で翻訳した結果をどの程度人間が理解できるかを評価し、処理が不十分な場合でも計算機が処理できなかった問題点を人間に明示し、一通りの訳文を得ることを人間に委ねる方法の検討を行なっている。

本稿では、支援システムへの応用を前提としたロシア語の単文・複文にわたる構文規則を作成し、PROLOGによる翻訳実験を行なった結果を報告する。

なお、本報告において、形態分析は岡本、中野、田中^[2,3]に、構文解析・訳文生成は吉見^[4]、岡本による。

2 形態分析

形態分析の目的は、語形辞書と語幹辞書と語尾表から入力語について語彙素を決定し、文法情報・語義情報を得ると同時に、それが語形変化する語ならば、語形変化情報を得ることにある。語形変化情報とは、語彙素の語形変化を規定する範ちゅう（の組）が入力形において実現した値（の組）である。

2.1 辞書

辞書項目は、見出し・語彙素・形態・構文・語義に関する情報からなる。見出し語には、語が語形変化する場合には語幹を与え、語形変化しない場合には標準形（人間用辞書の見出し）を与える。異形態があればすべて見出しとする。語形変化する語でも出現頻度の高い場合や、分析手順を単純化するのが望ましい場合には、語形辞書に登録し仮に語形変化しない語と見なす。この場合、形態情報はすべてははじめから与えておく。辞書の構成は次の通りである。

- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1. 見出し情報 | 5. 形態情報 |
| 1.1. 見出し | 5.1. 活動体／不活動体の別 |
| 1.2. 同形異義見出し識別番号 | 5.2. 性 |
| 1.3. 形態変化型 | 5.3. 数 |
| 1.4. 欠落形情報 | 5.4. 格 |
| 1.5. 特殊な数量生格・所格情報 | 5.5. 人称 |
| 1.6. 特殊対格の有無 | 5.6. 比較の級 |
| 2. 語彙素情報 | 5.7. 法 |
| 2.1. 語彙素 | 5.8. 相 |
| 2.2. 同形異義語彙素識別番号 | 5.9. 時制 |
| 2.3. 形態変化型 | 5.10. 態 |
| 2.4. 欠落形情報 | 5.11. 再帰 |
| 3. 構文情報 | 5.12. 複合語結合母音 |
| 4. 語義情報 | |

形態品詞は、語形変化上、名詞類、形容詞類、動詞類を区別する（数なし類は、今回は、全ての屈折形を登録する）。関与する範ちゅうは、それぞれ、＜数、格＞、＜性、数、格、活動体／不活動体の別、比較の級、限定／非限定の別＞、＜性、数、人称、時制、法、態、形動詞／副動詞の別＞とする。性は男性・中性・女性を、数は単数・複数を、格は主格・生格・与格・対格・造格・前置格を、人称は一人称・二人称・三人称を、時制は現在・過去・未来を、法は直接法・命令法・仮定法を、態は能動態・受動態を区別する。

2.2 語尾表

語尾を構成する接辞は、接中辞型、すなわち、最上級形容詞や形動詞を派生するものと、語と語を結合する母音字、接尾辞型、すなわち、屈折辞や比較級形容詞や副動詞を派生する語尾、動詞の屈折辞の一部に続く受動態

または再帰動詞を示す語尾 *с я / с ь* の三種を区別する。

語尾表は前二者からなる。表の行番号は形態変化型に、列番号は屈折・派生情報に一意に対応する。名詞類語尾表は 114 行 12 列、形容詞類語尾表は 23 行 30 列、動詞類語尾表は 95 行 19 列からなる^[5,6]。

2.3 形態分析

形態分析は、まず、語形辞書との照合を行なう。照合の取れたものは終了し、取れないものは語幹辞書との照合及び語尾表の参照を行なう。語尾表の照合は、接中辞のある場合はその形態変化型に従い、再び表の照合を繰り返す。

3 構文解析

構文解析は、形態分析で得たデータをもとにして、次の方針で行なう。

(a) 解析は句構造文法を用いて行ない、解析結果は支配従属構造で表現する（後者を人間への説明に使う）。(b) 規則はなるべく単純化し、意味情報は利用しない（人間には複雑な規則を与える）。(c) 文法の許すすべての従属構造を得る。また、得られた複数個の構造（構文木）は、和をとって共通の部分木で括る（factoring）。

3.1 構文規則

構文規則は、句構造文法と支配従属文法をモデルとし、両文法の統一形式で示す。

【例】 $ADJP \leftarrow ADJ^G$

$ADJP \leftarrow ADV^{adjunct} + ADJ^G$

規則は、一方で、句構造文法からみて左辺のカテゴリが右辺の一つ以上のカテゴリから構成されることを示す。他方、支配従属文法からみて、右辺の上付き文字 *G* のついたカテゴリが支配者であること、その他のカテゴリが従属者で上付き文字は支配従属関係の種類を、かつ左辺のカテゴリは右辺の支配者が代表することを意味する。

右辺のカテゴリに付けた下線は、そのカテゴリが持つ構文情報が左辺のカテゴリに継承されることを示す。原則として、右辺の支配者の持つ構文情報が左辺へ継承されるが、例外がある場合には左辺のカテゴリの右側に斜線を付けて、それに与えられる情報を示す。

右辺のカテゴリの右側に斜線を付けて、そのカテゴリが単独で満たすべき構文的制約条件を指定する。また、右辺の二つ以上のカテゴリの間で満たすべき呼応や支配に関する構文的制約条件を {} で囲んで示す。

支配従属関係は、<sbj 主体>、<obj 対象>、<rec 受け手>、<ori 与え手>、<adjunct 付加>、<premdf 前置修飾>、<postmdf 後置修飾>、<prepcmp 前置詞補語>を区別する。

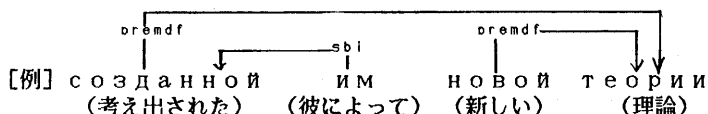
3.1.1 名詞句

名詞句は、主名詞及びそれを前から修飾する任意個の前置修飾語と後ろから修飾する任意個の後置修飾語からなる。主名詞と前置修飾語からなる名詞句を基本名詞句（BNP）と呼ぶ。

(1) 前置修飾語の処理

前置修飾語になりうるものは、形容詞句(ADJP)、形動詞句(AVP)、基数詞(NUM1)、順序数詞(NUM2)、形容詞的代名詞(APR)である。

基本名詞句(BNP)の処理は、前置修飾語に基数詞が含まれているか否かによって分ける。基数詞が含まれていない場合、前置修飾語と主名詞は性・数・格が一致しなければならない。一致した性・数・格の情報が基本名詞句全体の情報として引き継がれる。



ここで、矢印は従属者から支配者に向かい、支配従属関係の種類が添えてある。

基数詞が含まれている場合、次に示す構文的制約条件が満たされなければならない。複合基数詞の場合は、最後の基数詞の要求にしたがう。

(a) 1、斜格の基数詞、前置修飾語、名詞は性・数・格が一致。

(b) 主格または主格と同じ対格の 2、3、4 は、前置修飾語は複数生格、名詞は単数生格。但し 2 は性が呼応。

(c)主格の5~900、全ての格の千、百万、十億は前置修飾語、名詞ともに複数生格。

基本名詞句を処理する規則の一部を示す。

BNP ← $\underline{N^G}$
 BNP ← $\underline{LNP}_{/-num}^{orendf} + \underline{N^G} + \{\text{性数格一致}\}$
 BNP ← $\underline{LNP}_{/+num}^{orendf} + \underline{N^G} + \{\text{上に示した条件のチェック}\}$
 LNP ← $\underline{L N^G}$
 LNP_{+/num} ← $\underline{NUM1} + \underline{LNP}_{/-num} + \{\text{上に示した条件のチェック}\}$
 LNP_{/-num} ← $\underline{LNP}_{/-num} + \underline{LN} + \{\text{性数格一致}\}$
 LN ← $\underline{ADJP^G}$
 LN ← $\underline{AVP^G}$

(2) 後置修飾語の処理

後置修飾語は、名詞、前置詞句(PP)、関係代名詞節(RLC)、形動詞句である。後置修飾語としての名詞は、生格になることが多く、左側に連なる全ての名詞に従属しうる。

【例】 критика изучения Эйнштейна
 (批判) (研究の) (アインシュタインの)

この例では、【解1. (アインシュタインの研究の) 批判】と【解2. アインシュタインの (研究の批判)】のように、「アインシュタイン」の従属先に関して二通りの解釈ができる。さらに、生格の意味関係の曖昧さ、例えば、解1の「アインシュタイン」が「研究」の主体か対象かという曖昧さが加わる。

本研究では、生格名詞は直前の名詞に従属する場合が多いこと、ロシア語の生格名詞連鎖において生じる曖昧さが日本語の格助詞「の」で結ばれる名詞連鎖における曖昧さに鏡像的に対応させられる場合があること、生格名詞連鎖は頻繁に現れ、構文木の個数に大きく影響すること、名詞間の意味関係の正しい認定が難しいことを考慮して、生格名詞の従属先は直前の名詞とし、従属関係は単にpostmdfとした支配従属構造

↓postmdf ↓postmdf ↓postmdf
 N_1 N_2 N_3 N_4

のみを出力する。

前詞も生格名詞と同様に先行する名詞のいずれにも従属し、従属関係も多様であるが、上述の理由から、従属先は直前の名詞とし従属関係は単にpostmdfとする。

生格名詞連鎖、名詞と前置詞句との結合を処理する規則を示す。

NP ← $\underline{BNP^G}$
 NP ← $\underline{BNP^G} + NP_{postmdf}$
 NP ← $\underline{BNP^G} + PP_{postmdf}$
 PP ← $\underline{PRE^G} + NP_{orendf} + \{\text{格一致}\}$

関係代名詞節は、関係代名詞と性・数の一致する名詞に従属する。関係代名詞の格は、関係代名詞節の述語との格関係によって決まる。

↓postmdf ↓postmdf ↓obi ↓postmdf ↓sbi
 выдержка статьи, которую написал он
 (抜粋) (論文の) (それを) (書いた) (彼が)

この例では、関係代名詞(女性単数)の先行詞が「抜粋」または「論文」で曖昧である。

形動詞句は、名詞を前から修飾するばかりでなく、性・数・格の一致する名詞を後ろからも修飾する。

↓postmdf ↓rec
 [例] статьи, посвященные теории
 (論文) (捧げられた) (理論に)

関係代名詞節、形動詞句と先行詞との結合を記述する構文規則を示す。

NP ← $\underline{NP^G} + \text{COMMA}_{unc} + \underline{RLC}_{postmdf} + \text{COMMA}_{unc} + \{\text{NPとRLCの性数一致}\}$
 NP ← $\underline{NP^G} + \text{COMMA}_{unc} + \underline{AVP}_{postmdf} + \text{COMMA}_{unc} + \{\text{NPとAVPの性数格一致}\}$
 RLC ← $\underline{WHNP^R} + \underline{VP^G} + \{\text{支配テスト}\}$
 RLC ← $\underline{WHPP}_{adiunct} + \underline{VP^G}$
 WHNP ← $\underline{WH^G}$

$$WHNP \leftarrow NP^G + WH_{postmod}$$

$$WHPP \leftarrow PRE^G + WHNP_{precomp} + \{\text{格一致}\}$$

3. 1. 2 述語とその支配

ロシア語で、動詞、形容詞、動詞から派生する副動詞と形動詞、さらに一部の副詞と名詞は支配を持つ。

支配の処理は、支配モデルに基づいて行なう。支配モデルでは、ロール名、共起しうる品詞、語彙素、格コードを指定する。共起しうる品詞は、値として、名詞(N)、前置詞(PRE)、接統詞(UTO)---英語のthatに相当---、不定動詞(INF)をとる。語彙素の指定は慣用句に対処するためである。本研究では、意味マーカによる制限は行なっていない。

支配に関する構文規則を示す。{支配テスト}で、支配モデルに基づき、動詞と名詞の結合可能性を調べる。支配従属関係Rには支配テストにより決定したロールが代入される。

$$VP \leftarrow VP^G + NP^R + \{\text{支配テスト}\}$$

$$VP \leftarrow NP^R + VP^G + \{\text{支配テスト}\}$$

この規則からわかるように、ロシア語では、動詞、副動詞および形動詞とそれに従属する名詞との語順は自由である。前置詞の場合も同様である。

3. 2 慣用句の処理

本研究では、構文的曖昧さの一意な解釈を行なったり構文解析を効率的に行なうために、慣用句を積極的に利用している。慣用句を、その意味が構成要素の意味から合成できる場合でも、ここでは広義に解釈し、対象分野に特有な表現、使用頻度の高い言い回し、強い語結合、構文的枠組みを与える表現なども慣用句とみなす。

慣用句を、構成要素の語形・語順の制限に基づき、語形・語順固定型、語順固定型、語順不定型に分ける。

語形・語順固定型の慣用句は、特定の語形の一定の並びからなる。この型の慣用句は、語形辞書にリストとして登録する。

【例】 в (において) качестве (質) → (として)

語順固定型の慣用句は、構成要素間の語順は固定されているが、一部、あるいは全部の構成要素は自由に屈折する。

【例】 база (基礎) данных (データの) → (データベース)

この例では、第二構成要素は語形が複数生格であるが、第一構成要素は自由に屈折しうる。この型の慣用句は、 $NP \leftarrow N\{\text{база}\}^G + N\{\text{данных}\}$ のように、構文規則で語彙素を指定することにより処理する。

また、特定の語類(品詞)の語を構成要素への、必須のあるいは任意の修飾語として取る場合もある。

【例】 с (と共に) W_(APR) помощью (援助) → (W'のおかげで)

語順不定型の慣用句は、構成要素間の語順が任意である。述語を中心とする慣用句がこれに属する。この型の慣用句は、通常の述語の構文規則を用い、格支配テストの中で格支配モデル情報の語彙素欄を参照して処理する。

【例】 возвести W_(N) в квадрат → (W'を二乗する)

(累乗する) (において) (平方数)

この例では、動詞は自由に屈折するだけでなく、前置詞句を前から後ろからも支配でき、かつ慣用句の構成要素でない名詞句(W)を支配する。

4 訳文生成

訳文生成は、対訳の決定と構造変換からなる。対訳の決定は、訳語の決定と、原文の文法情報及び支配従属関係に対応する形態素の並びの決定からなる。各語の訳語は辞書照合によって、また慣用句の訳語は辞書照合及び構文解析によってすでに得ている。訳文生成は、次の方針で行なう。

(a) 訳と共に訳し方(訳文生成経過)を示す。訳の表記や体裁を工夫する。

(b) 訳に日本語の曖昧さを持ち込まず、原文の曖昧さをなるべく日本語の曖昧さに写す。

(c) 曖昧な部分だけ多重に訳し、解析不能な部分を明示する。

構造変換は、構文解析で得た支配従属構造の末端節点から上向きに変換規則を再帰的に適用することにより行なう。変換規則では、着目節点およびその下位節点の持つ構文情報、着目節点と下位節点との支配従属関係に着目して、日本語の支配従属構造を決定する。変換規則は、語順の変更に関連して、一つの一般規則と二つの特殊

(1) 一般變換規則

$$\{D(R, I)_{-1}\} \cdot + G(I) + \{D(R, I)_k\} \cdot$$

$$\rightarrow \{D(R', I)_1\}^* + \{D(R', I)_k\}^* + G(I), (i < k)$$

(2) 特殊變換規則

規則 1: $\{D(\text{premdf}, l)_i\}^* + G(\langle N \rangle) + D(\text{postmdf}, l)_k$

$$\rightarrow \{D(\text{連体修飾}, l)_1\}^+ + D(\text{連体修飾}, l)_k + G(<N>)$$

$$39) D(\text{連体修飾}, 1) + \{D(\text{連体修飾}, 1)\}^+ + G(<N>)$$

規則 1 により、ロシア語における前置修飾語と後置修飾語との順序関係を保存して主名詞の前に置いた構造と、順序関係を逆転して主名詞の前に置いた構造の二通りに変換する。

[例] известное изчение Эйнштейна
 (有名な) (研究) (アインSTEINの)

「訳1」有名なアインシュタインの研究 「訳2」アインシュタインの有名な研究

上例と逆に、原文が形容詞が「アインスタイン」を一意に修飾する句「(研究) (有名な) (アインスタインの)」ならば、一般変換規則で訳1を得る。この場合、後置修飾語を後置した訳を併記すれば上述の曖昧さに対処できる。特に関係代名詞節や形動詞句を日本語の連体修飾語として訳出すると理解にくい訳文となることが多い。今回は、関係代名詞節や形動詞句を主名詞の後ろに置いて挿入句のように訳出する規則を用意した。なお逐語訳は後置修飾語を許す訳とすることが出来る。

規則2: $G(<N>) + D(\text{postmdf}, <VIAV>)_k$

$$\rightarrow D(\text{連体修飾}, \langle \text{VIAV} \rangle)_k + G(\langle \text{N} \rangle)$$

また) $G(<N>) + D(\text{疑似的挿入}, <Y|AV>)$

5 実験結果と考察

相対性理論に関するポピュラーサイエンス記事(資料1、20文)と情報処理関係の抄録雑誌(資料2、110文)を資料として、翻訳実験を行なった。

構文分析結果を例 1 (出力[1]) に示す。結果は構文木、訳語、支配関係の説明、英訳語からなる。文の第 4 語は関係形容詞であるが、訳語「科学」のアンダスコアは「的・の・に関する・ゼロ」の中の一つを示す。

「例 17」

Эйнштейн опубликовал в научном журнале две небольшие статьи, посвященные созданной им теории относительности. [資料1第5文]

図1

[1]	
↓-----1 [アインシュタイン] [が,は]	→公布した(2/主語) [einsteinium]
-----2 [公布した, 発表した] []	主文/述語 [publish]
↑-----3 [において, について] []	→公布した(2/付加語) [in]
↑↑↓-----4 [科学, (=科学, 科学的, 科学の), 学問,] []	→雑誌(57修飾) [scientific]
↑↑-----5 [雑誌] []	→において(3(前置詞)/補語) [magazine]
↑↓-----6 [二つの] []	→論文(87修飾) [two]
↑↓-----7 [小さい] []	→論文(87修飾) []
↑-----8 [論文, 項目, 項] [を]	→公布した(2/目的) [paper, entry]
↑-----9 [,] []	[,]
↑-----10 [挙げられた] []	→論文(87修飾) [devote]
↑↑↓-----11 [孝え出された] []	→理論(137修飾) [established]
↑↑↓↑-----12 [彼, それ, あれ] [によって]	→孝え出された(11/行為者) [he, it, that]
↑↑-----13 [理論, 学説] [に]	→挙げられた(18/相手) [theory]
↑↑-----14 [相関性, 相対性] [の]	→理論(137修飾) [relativity]
↑-----15 [,] []	[,]

結果[1]は原文の構造と広義の逐語訳を示し、人間に理解翻訳させるための初期情報となる。
図2の「2」-「5」に、翻訳者の支援のため、翻訳過程のモデルとして、初期情報から最終訳に至る経過を示す。

図2

[2]	
-----2 [アインシュタインが公布した] []	主文/述語 [publish]
↑-----3 [において, について] []	→公布した(2/付加語) [in]
↑↑-----5 [科学, 雑誌] []	→において(3(前置詞)/補語) [magazine]
↑-----8 [二つの小さい論文] [を]	→公布した(2/目的) [paper, entry]
↑-----10 [挙げられた] []	→論文(87修飾) [devote]
↑↓↑-----11 [彼によって孝え出された] []	→理論(137修飾) [established]
↑-----13 [相関性の理論] [に]	→挙げられた(18/相手) [theory]
[3]	
-----2 [アインシュタインが公布した] []	主文/述語 [publish]
↑-----3 [科学, 雑誌において] []	→公布した(2/付加語) [in]
↑-----8 [二つの小さい論文] [を]	→公布した(2/目的) [paper, entry]
↑-----10 [挙げられた] []	→論文(87修飾) [devote]
↑↑-----13 [相関性の彼によって孝え出された理論] [に]	→挙げられた(18/相手) [theory]
[彼によって孝え出された相関性の理論]	
[4]	
-----2 [アインシュタインが科学, 雑誌において公布した] []	主文/述語 [publish]
↑-----8 [二つの小さい論文——相関性の彼によって孝え出された理論に挙げられた——] [を]	→公布した(2/目的) [paper, entry]
[相関性の彼によって孝え出された理論に挙げられた二つの小さい論文]	
[二つの小さい相関性の彼によって孝え出された理論に挙げられた論文]	
[5]	
-----2 [アインシュタインが科学, 雑誌において二つの小さい論文——相関性の彼によって孝え出された理論に挙げられた——を公布した]	

上例の訳文生成は、すべての葉から同時に上向きに1レベルずつ部分訳を生成する。モデルは人間が文の全体と

部分を、また理解できる部分とそうでない部分を同時に平行して考えることに対応している。上向き型と並んで、下向き型、あるいは両者の混合型が考えられる。また部分訳の提示も1レベル毎ではむしろ煩きな感じを与える場合がある。訳文・部分訳の示し方あるいは訳し方の教え方の研究が今後の重要な課題である。

被験者に図の「1」から「5」を与え、翻訳を試みさせて理解度をテストする実験の結果については、今後の研究と関連して、別の機会に報告したい。

6 おわりに

ロシア語の単文・複文を対象として、比較的広い範囲にわたる構文規則を記述し、翻訳システムをPROLOGを用いて作成し、翻訳実験の結果を示した。

今後の課題として、訳文あるいは部分訳と共に訳文生成経過を示した場合に人間がどの程度理解できるかの評価を進め、人間による訳文生成・編集を支援する方法の研究に取り組みたい。

参考文献

[1] 水谷静夫、岡本哲也、木村睦子、古郡廷治、中沢操子：ロシア語化学論文タイトルの自動翻訳、計量国語学、39(1967)。

[2] 中野まり子：露語から日本語への機械翻訳の研究、電気通信大学修士論文(1985)

[3] 岡本哲也、中野まり子、田中まづる：ロシア語の形態分析、情報処理学会第28回全国大会論文集、6L-1(1984)。

[4] 吉見毅彦：露和機械翻訳に関する研究、電気通信大学修士論文(1987)。

[5] 岡本哲也、田中まづる：ロシア語の形態変化の言語工学的研究(III)、電気通信大学学報、34巻1号(1983)

[6] 岡本哲也、田中まづる：ロシア語の形態変化の言語工学的研究(IV)、電気通信大学学報、37巻1号(1986)

[7] 松本裕治他：PROLOGに埋め込まれたbottom-up parser: BUP, NL研資料34-5(1982)。