

## 編集=計算パラダイムと例によるプログラミング

白取知樹・萩谷昌己

東京大学 大学院理学系研究科  
〒113 文京区本郷7-3-1

計算トレースを基にした例によるプログラミング (Programming-by-Example、PBE) は、トレースを自然に記述、編集できる対話的な環境を提供することが困難であるがゆえに、従来の研究でも実用的なものになるまでには至らなかった。本発表では、計算トレースによる PBE を実現するために新しく「編集=計算」パラダイム (Computing-As-Editing Paradigm、CAEP) を提案し、このパラダイムに基づく PBE システムについて詳述する。このシステムは計算トレースを記述するための二次元的な制約言語を有しており、制約は同一プログラムのすべての計算トレースに対して成り立つ規則を表現する。トレースに対する規則を制約として統一的に扱うために、「繰り返し制約」と呼ぶ新しい種類の制約を導入した。これは、一定増減の繰り返しを、最初と第二のステップを指摘するだけで表現することができる。また、繰り返しの中の条件式を推論するための新しいアルゴリズムも合わせて開発した。

### Computing-As-Editing Paradigm and Programming-by-Example

*Tomoki Shiratori and Masami Hagiya*

Graduate School of Science, University of Tokyo  
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, JAPAN  
{blacky,hagiya}@is.s.u-tokyo.ac.jp

Programming by example (PBE) from computation traces is hard to realize because of the difficulty to support an interactive environment in which traces are easily written and edited. In this paper, we propose a new approach to PBE called Computing-As-Editing Paradigm (CAEP) and describe a PBE system based on the paradigm. The system has a two-dimensional language of constraints for writing computation traces. Constraints represent rules that hold on every computation trace of the same program. In order to uniformly treat rules on traces as constraints, we introduced a new kind of constraint called *iteration constraint*, which can represent iteration with fixed increments by simply pointing to the first and second iteration steps. We also developed a new algorithm for inferring conditional expressions in iteration.

# Boomborg-KEISAN

編集＝計算パラダイムと例によるプログラミング

萩谷昌己、白取知樹 東京大学大学院理学系研究科

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">↓+収入金額</td> </tr> <tr> <td>給与、賞与</td> <td>小田原大学 1000000</td> </tr> <tr> <td>賞与</td> <td>雑損控除 20000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">給与所得計算: 1020000 19/10-1005000 = 115000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">↓+収入金額</td> </tr> <tr> <td>印税 [加版]</td> <td>大塚書店: 100000 07/10 = 1</td> </tr> <tr> <td>印税 [風加]</td> <td>小塚書店: 100000 08/10 = 8</td> </tr> <tr> <td>原稿料</td> <td>美凡社: 11111 07/10 = 7</td> </tr> <tr> <td>原稿料</td> <td>美凡社: 22222 07/10 = 1</td> </tr> <tr> <td>講演料</td> <td>日本元談学会: 33333 07/10 = 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">必要経費計算: 366665 -</td> </tr> <tr> <td colspan="2">↓+所得計算</td> </tr> <tr> <td>(7) 給与→</td> <td>1023000</td> </tr> <tr> <td>(8) 雑→</td> <td>200000</td> </tr> <tr> <td>(12) 医療費控除</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>(13) 社会保険料控除</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>(15) 生命保険料控除</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>(24) 扶養控除</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>(33) 基礎控除</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">課税所得計算: 459645 -</td> </tr> <tr> <td>(10) 合計</td> <td>1</td> </tr> </table>	↓+収入金額		給与、賞与	小田原大学 1000000	賞与	雑損控除 20000	給与所得計算: 1020000 19/10-1005000 = 115000		↓+収入金額		印税 [加版]	大塚書店: 100000 07/10 = 1	印税 [風加]	小塚書店: 100000 08/10 = 8	原稿料	美凡社: 11111 07/10 = 7	原稿料	美凡社: 22222 07/10 = 1	講演料	日本元談学会: 33333 07/10 = 2	必要経費計算: 366665 -		↓+所得計算		(7) 給与→	1023000	(8) 雑→	200000	(12) 医療費控除	1	(13) 社会保険料控除	5	(15) 生命保険料控除	5	(24) 扶養控除	1	(33) 基礎控除	1	課税所得計算: 459645 -		(10) 合計	1	<p style="text-align: center;">1 からNまでの二乗の和を計算する</p> <p style="text-align: center;">↓↑</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>♂</td> <td>::</td> <td>1</td> <td>*</td> <td>1</td> <td>=</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>♀</td> <td>::</td> <td>2</td> <td>*</td> <td>2</td> <td>=</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>::</td> <td>3</td> <td>*</td> <td>3</td> <td>=</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>::</td> <td>4</td> <td>*</td> <td>4</td> <td>=</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td></td> <td>::</td> <td>5</td> <td>*</td> <td>5</td> <td>=</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td></td> <td>::</td> <td>6</td> <td>*</td> <td>6</td> <td>=</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td></td> <td>::</td> <td>7</td> <td>*</td> <td>7</td> <td>=</td> <td>49</td> </tr> <tr> <td></td> <td>::</td> <td>8</td> <td>*</td> <td>8</td> <td>=</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td></td> <td>::</td> <td>9</td> <td>*</td> <td>9</td> <td>=</td> <td>81</td> </tr> </table> <hr style="width: 50%; margin: 10px auto;"/> <p style="text-align: center;">285</p>	♂	::	1	*	1	=	1	♀	::	2	*	2	=	4		::	3	*	3	=	9		::	4	*	4	=	16		::	5	*	5	=	25		::	6	*	6	=	36		::	7	*	7	=	49		::	8	*	8	=	64		::	9	*	9	=	81	<p style="text-align: center;">5 ← 1</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1</td> <td>5</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>↑ a1</td> <td>↑ a2</td> <td>↑ a3</td> <td>↑ a4</td> <td>↑ a5</td> </tr> </table> <p>♂ a1 &lt; a2 ⇒ □ a1 &gt; a2 ⇒ :: a1 = 1 :: a2 = 5 ⇒ ↑ a2 ↑ a1</p> <p>♀ a2 &lt; a3 ⇒ □ a2 &gt; a3 ⇒ :: a2 = 5 :: a3 = 1 ⇒ ↑ a3 ↑ a2</p> <p>◆ a3 &gt; a4 ⇒ :: a3 = 5 :: a4 = 2 ⇒ ↑ a4 ↑ a3</p> <p>◆ a4 &gt; a5 ⇒ :: a4 = 5 :: a5 = 4 ⇒ ↑ a5 ↑ a4</p> <p>↑           ↑          </p> <p>♂ a1 &lt; a2 ⇒ □ a1 &gt; a2 ⇒ :: a1 = 1 :: a2 = 1 ⇒ ↑ a2 ↑ a1</p> <p>♀ a2 &lt; a3 ⇒ □ a2 &gt; a3 ⇒ :: a2 = 3 :: a3 = 2 ⇒ ↑ a3 ↑ a2</p> <p>◆ a3 &lt; a4 ⇒ ↑          </p> <p>♂ a1 &lt; a2 ⇒ □ a1 &gt; a2 ⇒ :: a1 = 1 :: a2 = 1 ⇒ ↑ a2 ↑ a1</p> <p>♀ a2 &lt; a3 ⇒ □ a2 &gt; a3 ⇒ :: a2 = 1 :: a3 = 1 ⇒ ↑ a3 ↑ a2</p> <p>↑          </p> <p>↑          </p> <p>◆ a1 &gt; a2 ⇒ :: a1 = 2 :: a2 = 1 ⇒ ↑ a2 ↑ a1</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>↑ a1</td> <td>↑ a2</td> <td>↑ a3</td> <td>↑ a4</td> <td>↑ a5</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table>	1	5	1	1	4	↑ a1	↑ a2	↑ a3	↑ a4	↑ a5	↑ a1	↑ a2	↑ a3	↑ a4	↑ a5	1	2	3	4	5
↓+収入金額																																																																																																																															
給与、賞与	小田原大学 1000000																																																																																																																														
賞与	雑損控除 20000																																																																																																																														
給与所得計算: 1020000 19/10-1005000 = 115000																																																																																																																															
↓+収入金額																																																																																																																															
印税 [加版]	大塚書店: 100000 07/10 = 1																																																																																																																														
印税 [風加]	小塚書店: 100000 08/10 = 8																																																																																																																														
原稿料	美凡社: 11111 07/10 = 7																																																																																																																														
原稿料	美凡社: 22222 07/10 = 1																																																																																																																														
講演料	日本元談学会: 33333 07/10 = 2																																																																																																																														
必要経費計算: 366665 -																																																																																																																															
↓+所得計算																																																																																																																															
(7) 給与→	1023000																																																																																																																														
(8) 雑→	200000																																																																																																																														
(12) 医療費控除	1																																																																																																																														
(13) 社会保険料控除	5																																																																																																																														
(15) 生命保険料控除	5																																																																																																																														
(24) 扶養控除	1																																																																																																																														
(33) 基礎控除	1																																																																																																																														
課税所得計算: 459645 -																																																																																																																															
(10) 合計	1																																																																																																																														
♂	::	1	*	1	=	1																																																																																																																									
♀	::	2	*	2	=	4																																																																																																																									
	::	3	*	3	=	9																																																																																																																									
	::	4	*	4	=	16																																																																																																																									
	::	5	*	5	=	25																																																																																																																									
	::	6	*	6	=	36																																																																																																																									
	::	7	*	7	=	49																																																																																																																									
	::	8	*	8	=	64																																																																																																																									
	::	9	*	9	=	81																																																																																																																									
1	5	1	1	4																																																																																																																											
↑ a1	↑ a2	↑ a3	↑ a4	↑ a5																																																																																																																											
↑ a1	↑ a2	↑ a3	↑ a4	↑ a5																																																																																																																											
1	2	3	4	5																																																																																																																											

スプレッドシート機能による  
税金計算

PBEにもとづく数列の計算

ソーティングなどの複雑なプログラミング

- 本研究の特徴
- ・ 編集過程と計算過程を自然に統合するためのパラダイムの提唱。
  - ・ VisibilityとStructure-Freedomにもとづく設計方針。
  - ・ 制約記号をもちいた宣言的な記述。
  - ・ 計算トレースをもとにした例からのプログラミング(PBE)。
  - ・ 通常のエディタ(Mule)上に実装。

編集過程: 文書の編集および制約の設定  
計算過程: 制約の解消

Visibility: 文書上の制約はすべてユーザに見える形にする。

Structure-Freedom:  
設定された制約の構造が  
編集操作に制限を加えない。

参考文献

[Hagiya 95]Hagiya, M. and Shiratori, T.: Programming by Example in Computing-as-Editing Paradigm, 11th Intl. IEEE Symposium on Visual Languages, 1995.