

時制制約に従うオブジェクトマイグレーションとその振舞いモデリング

佐藤 秀樹[†] 牧之内 顕文^{††}

実世界の実体の多面的な性質の表現, 任意の aspekto の動的な獲得・喪失を可能とする多面的オブジェクト指向データモデルに基づくデータベースでは, オブジェクトの性質の進化にともない, オブジェクトのクラスへの所属関係の更新を意味するオブジェクトマイグレーション (Object Migration; OM) が生起する. 意味のない, あるいは誤った OM の生起を回避するため, OM の枠組みに関する一貫性研究が行われてきたが, オブジェクトの aspekto に関する時制関係が扱われることはなかった. 本論文では, スナップショット・データベースにおける OM に関する一貫性制約 (遷移制約・多重性制約) を拡張し, オブジェクトが保持する aspekto に関する時制遷移制約・時制多重性制約の OM の枠組みへの組込みを提案する. このため, オブジェクトの各 aspekto に対して, 実世界におけるその存続期間を表す時区間データを付ける. この下で, 時制遷移制約は, オブジェクトの aspekto に関する定性的/定量的な時制関係をともなった遷移規則により記述される. また, 時制多重性制約は, オブジェクトスキーマにより記述される. さらに, カラーペトリネット (Colored Petri Nets; CPN) を用いた OM 振舞いモデリング法を特化し, 時制遷移制約・時制多重性制約の集合に基づく OM 振舞いモデルを構築する.

Object Migration under Temporal Constraints and Its Behavior Modeling

HIDEKI SATO[†] and AKIFUMI MAKINOUCI^{††}

In databases based on a multi-aspects object-oriented data model which enables multiple aspects of a real-world entity to be represented and to be acquired/lost dynamically, Object Migration (OM) updating membership relationships between an object and classes occurs, as the properties of the object evolve in its lifetime. Although researches of consistency constraints on OM have been conducted to prevent meaningless, or erroneous OM from occurring, none of them considers temporal relations among aspects of an object. This paper introduces temporal consistency constraints such as temporal transitional constraints and temporal multiplicity constraints by extending OM consistency constraints for snapshot databases. To this end, a temporal interval is attached to each aspect of an object for representing its duration in the real world. Then, temporal transitional constraints are represented by transitional rules with conditions representing qualitative/quantitative temporal relations among aspects of an object. Additionally, temporal multiplicity constraints are represented by object-schemas. Furthermore, OM behavior models are constructed based on a set of temporal consistency constraints by specializing OM behavior modeling using Colored Petri Nets (CPN).

1. はじめに

オブジェクト指向データベース¹⁾では, オブジェクトはただ 1 つのクラス, すなわちオブジェクトが作成されたクラスにのみ所属し, かつこの所属関係は生存期間において不変であることが仮定されている. し

かし, この仮定は動的な性質を有する実世界の実体のモデリングに際して, 重大な制限を課すことになる. たとえば, ある人がある時点で大学生となる. その後, 大学を卒業すると, もはやこの人は在学生ではなく, 今度は卒業生となる. この間, この人は同時に会社員であるかもしれない. このように, 実世界の実体は同時に複数の aspekto を持つこと, ならびに一生涯の間にこれらの aspekto の獲得・喪失を行っている. こ

[†] 愛知学泉大学コミュニティ政策学部
School of Community Policy, Aichi Gakusen University

^{††} 九州大学大学院システム情報科学研究院
Graduate School of Information and Electrical Engineering, Kyushu University

オブジェクトは暗黙的にそれが作成されたクラスの上位クラスにも所属する. しかし, ここでは上位クラスはオブジェクトが所属するクラスとしての数には含まない.

表 1 時制関係の定義

Table 1 Temporal relation definition.

時区間 I_1, I_2 の間の関係	開始時刻・終了時刻に関する同値関係
$\text{equals}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} = I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{etp} = I_2.\text{etp}$
$\text{before}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{etp} < I_2.\text{stp}$
$\text{after}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} > I_2.\text{etp}$
$\text{during}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} > I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{etp} < I_2.\text{etp}$
$\text{contains}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} < I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{etp} > I_2.\text{etp}$
$\text{overlaps}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} < I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{etp} > I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{etp} < I_2.\text{etp}$
$\text{overlapped_by}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} > I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{stp} < I_2.\text{etp}$ and $I_1.\text{etp} > I_2.\text{etp}$
$\text{meets}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{etp} = I_2.\text{stp}$
$\text{met_by}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} = I_2.\text{etp}$
$\text{starts}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} = I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{etp} < I_2.\text{etp}$
$\text{started_by}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} = I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{etp} > I_2.\text{etp}$
$\text{finishes}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} > I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{etp} = I_2.\text{etp}$
$\text{finished_by}(I_1, I_2)$	$I_1.\text{stp} < I_2.\text{stp}$ and $I_1.\text{etp} = I_2.\text{etp}$

れらに対するモデリングは多重継承によっても扱おうことができず、従来のオブジェクト指向データモデルはこの点において不十分といえる。

上記の問題点を克服するため、オブジェクトの多面的な性質の表現、任意のアスペクトの動的な獲得・喪失を可能とする多面的オブジェクト指向データモデルの研究^{2)~8)}が行われてきた。一方、多面的オブジェクト指向データベースにおいて、オブジェクトのクラスへの所属関係の更新を意味するオブジェクトマイグレーション (Object Migration; OM) に関する研究^{9)~12)}も行われてきた。これらの研究分野において、著者等は多面的オブジェクト指向データモデル MAORI (Multi-Aspects Object-Oriented Data Model)³⁾、多面的オブジェクト指向データベースにおける OM の枠組み¹⁴⁾、ペトリネット (Petri Nets)¹⁵⁾ を用いた OM の振舞いモデリング法^{16),17)} を提案してきた。オブジェクトの生存期間において、アプリケーションは時間とともに変わりうる種々の要件をオブジェクトに課す。こうした要件に適合するため、MAORI はオブジェクトが保持するアスペクト集合の動的な更新、すなわち OM を可能とする。一方、OM の枠組みは、OM の一貫性制約に基づき、意味のない、あるいは誤った OM 生起を回避する。また、OM の振舞いモデリング法は、OM の一貫性制約に基づき、OM 振舞いモデルを構築する。しかし、これらの一貫性制約はオブジェクトのアスペクトに関する時制関係を考慮しておらず、その記述能力は制限されていた。

Allen は、時制知識の表現・推論のために時区間論理¹⁸⁾ を提案した。時区間論理では、時区間 (time interval) I は時間軸上の線分であり、開始時刻 stp と終了時刻 etp の順序対 $[\text{stp}, \text{etp}]$ として定義される。ここで、 stp, etp はともに実数値をとり、 stp は etp より

り小さい。また、 I の開始時刻、終了時刻は各々 $I.\text{stp}$ 、 $I.\text{etp}$ と表される。2 つの時区間の間には、たかだか 13 個の時制関係が存在する (表 1 参照)。表 1 の各時制関係は、定義より排他的である。また、equal を除く時制関係の中の 6 個は、残りの 6 個の逆関係となっている。たとえば、関係 before は、関係 after の逆関係である。

本論文では、著者等がこれまでに提案した、スナップショット・データベースにおける OM に関する一貫性制約 (遷移制約・多重性制約^{14),16),17)} を拡張し、オブジェクトのアスペクトに関する時制遷移制約・時制多重性制約の OM の枠組みへの組込みを提案する。このため、オブジェクトの各アスペクトに対して、実世界におけるその存続期間を表す時区間データを付ける。この下で、時制遷移制約は、オブジェクトのアスペクトに関する時制関係をともなった遷移規則¹⁴⁾ により記述される。また、時制多重性制約は、オブジェクトスキーマ¹⁴⁾ により記述される。さらに、カラーペトリネット (Colored Petri Nets; CPN)¹⁹⁾ を用いた OM 振舞いモデリング法¹⁷⁾ を特化し、時制遷移制約・時制多重性制約の集合に基づく OM 振舞いモデルを構築する。

本論文の構成は、以下のとおりである。2 章では、OM と OM における一貫性制約を検討する。3 章では、OM に関する一貫性制約表現を提示する。4 章では、CPN を使った OM 振舞いモデルの構築法を述べる。5 章では関連研究に言及し、6 章で本論文のまとめと今後の課題を示す。

2. オブジェクトマイグレーションの一貫性制約

本章では、以降の議論のために、OM ならびに OM

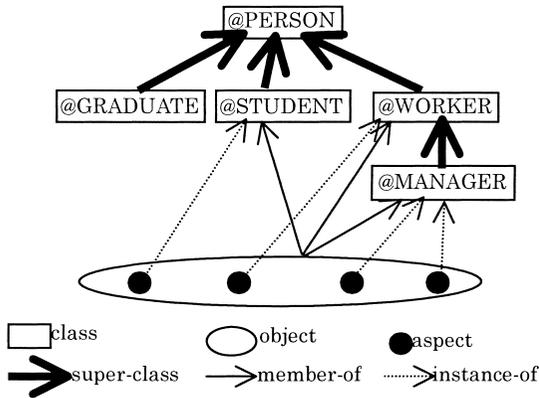


図 1 多面的オブジェクト

Fig. 1 An object with multiple aspects.

に関する一貫性制約について述べる。

2.1 オブジェクトマイグレーション

MAORI¹³⁾では、実世界の实体は複数のアスペクトを持つオブジェクトとしてモデリングされる。オブジェクトの各アスペクトはクラスのインスタンスとして表現され、クラスはインスタンスの形式(型)として属性/メソッドのリストを定義する。クラス間には上位(下位)クラス関係が存在し、下位クラスは上位クラスの定義を継承する。オブジェクトは、それが保持するアスペクトを定義するすべてのクラスに所属する。オブジェクトはオブジェクト識別子により一意に識別される。また、アスペクトはアスペクト識別子によりオブジェクト内において一意に識別される。このため、同一のクラスが定義するアスペクトを同時に複数持つことも可能である。図1は、オブジェクトの例を示す。このオブジェクトは人を表しており、@STUDENT、@WORKER、@MANAGERといったクラスが定義するアスペクトを有する。

MAORIでは、オブジェクトのクラスへの所属関係は時間とともに変化する。この所属関係の変化がOMと呼ばれる。OMは、OM事象の系列により引き起こされる。図2のOM事象の例は、オブジェクト“Smith”が助教授(Associate-professor)から教授(Professor)に昇進することに関する。OM事象生起前のオブジェクト“Smith”では、Associate-professorアスペクトが存在している。一方、OM事象生起後のオブジェクト“Smith”では、Associate-professorアスペクトが削除され、新たにProfessorアスペクトが追加される。

本論文では、オブジェクトの各アスペクトに対して、

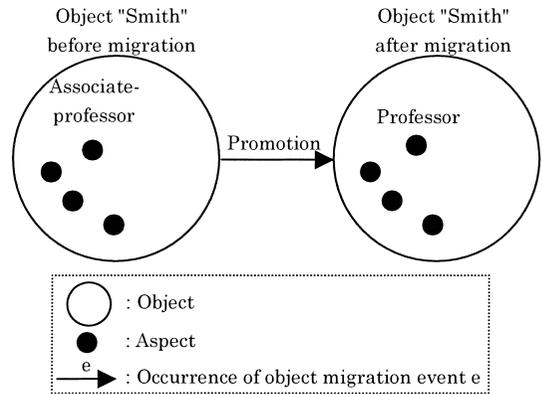


図 2 オブジェクトマイグレーション事象の例

Fig. 2 An example of object migration event.

実世界におけるその存続期間を表す時区間データを付ける。この時区間の開始時刻・終了時刻は、ともに有効時刻(valid time)^{20),21)}である。アスペクトAの時区間は、interval(A)と表される。図2のOM事象が、実世界における時刻 t_e で生じたとする。また、OM事象生起前に、Associate-professorアスペクトの時区間は $[t_0, \infty]$ であったとする。この下で、OM事象生起後には、削除されたAssociate-professorアスペクトの時区間は $[t_0, t_e]$ 、追加されたProfessorアスペクトの時区間は $[t_e, \infty]$ となる。なお、以降では、実世界においてOM事象が生じた時刻を T_{OM} により表す。また、OM事象生起時には、 ∞ の値は T_{OM} と解釈される。

2.2 一貫性制約

OMに関する一貫性制約は、実世界において意味のない、あるいは誤ったOMの出現を回避する。これは、多面的オブジェクト指向データモデルの特徴である、オブジェクトが複数のアスペクトを持つこと(多重性)、任意のアスペクトの動的な獲得・喪失が可能なこと(動的性)を反映する。前者の特徴はオブジェクトが保持可能なアスペクト集合を制限する多重性制約を導く。一方、後者の特徴はオブジェクトが持つアスペクト集合の可能な変化を制限する遷移制約を導く。以下では、まず、時間概念を想定しないスナップショット・データベースに対して著者らがこれまでに提示した^{14),16),17)}、遷移制約の要件、多重性制約の要件を示す。その後、これらを時間軸上に拡張することにより、時制遷移制約の要件、時制多重性制約の要件を示す。

時区間はアスペクトの属性値に付されるわけではなく、属性値の履歴をすべて記録するような時制データモデルを想定しているわけではないことを断っておく。

∞ は特殊な有効時刻であり、継続中の時刻を意味する。

本論文では、クラス名は“@”で始まる英字列で表す。

以下は、遷移制約に対する要件である。

[TC1] オブジェクトのアスペクト間の遷移には、方向の制限が課せられる。高校生から大学生になることができるが、逆に大学生から高校生になることはできない。

[TC2] オブジェクトのアスペクト間の遷移は、文脈に依存する。たとえば、博士であることを条件に、助教授は教授に昇進することができるものとする。この場合、助教授アスペクトから教授アスペクトへの遷移は、博士アスペクトの存在といった文脈に依存する。

以下は、多重性制約に対する要件である。

[MC1] オブジェクトが持つことができるアスペクトの型は制限される。犬や猫はペットとしてのアスペクトを持つことができるが、人間は比喩的な意味を除けば、ペットとしてのアスペクトを持つことはない。

[MC2] アスペクトの型ごとに、オブジェクトが持つことができるアスペクト数には上限が存在する。たとえば、ある会社では課長は2つまでしか兼任することができない。

[MC3] オブジェクトには、同時には持つことができないアスペクトの型の組が存在する。ある人が同時に大学生であり、かつ卒業生であることはない。

時制遷移制約の要件、時制多重性制約の要件は、上記に示した遷移制約の要件、多重性制約の要件を基に展開される。以下の [TTC1], [TTC2], [TTC3] は時制遷移制約に対する要件である。[TTC1] は [TC1] を、[TTC2] は [TC2] を、各々時間軸上で拡張している。また、[TTC3] は、時制制約としての観点より課せられる新たな要件である。

[TTC1] オブジェクトのアスペクトの遷移には、アスペクトの存続期間に関する定性的な時制関係が課せられる。たとえば、大学生になる場合、高校生である時期が大学生である時期より前でなければならない。これは、必ずしも、両期間が連続していることを意味しない。

[TTC2] オブジェクトのアスペクト間の遷移は、時間軸上での他アスペクトの存在といった文脈に依存する。たとえば、ある研究会では、過去に幹事を経験している副委員長が委員長になることができるものとする。この場合、副委員長アスペクトから委員長アスペクトへの遷移は、幹事アスペクトの存在といった時間軸上の文脈に依存する。

[TTC3] オブジェクトのアスペクト間の遷移には、ア

スペクトの開始時刻・終了時刻に関する定量的な時制関係が課せられる。たとえば、助手は、5年以上経験した後に助教授に昇進することができるものとする。

前記の [TC1], [TC2] では、関係するアスペクトが OM 事象生起の前後において存在していることが必要である。しかし、[TTC1], [TTC2] ではこの条件が緩和されており、[TC1] は [TTC1] に、[TC2] は [TTC2] に各々含まれている。また、多重性制約は、オブジェクトの生存期間全般において、つねに成立することが求められる。したがって、多重性制約を時制制約として拡張する時制多重性制約に関しても、上記の多重性制約の要件 [MC1], [MC2], [MC3] がそのまま時制多重性制約の要件となる。以上より、OM の時制制約に関して、[TTC1], [TTC2], [TTC3], [MC1], [MC2], [MC3] が検討対象となる。

3. オブジェクトマイグレーションに関する一貫性制約表現

本章では、時制多重性制約、時制遷移制約の表現形式を提示する。

3.1 時制遷移制約の表現

要件 [TTC1], [TTC2], [TTC3] より、時制遷移制約は OM 事象生起時における、(1) アスペクトに関する定性的な時制関係、(2) 時間軸上の文脈アスペクト、(3) アスペクトの開始時刻・終了時刻に関する定量的な時制関係を表現することが求められる。このための表現形式として、遷移規則¹⁴⁾を用いる。

[定義 1] 遷移規則 p は、次の形式をとる。

$$p: \alpha \xrightarrow{c(\alpha)} \beta$$

ここで、 $\alpha (\in N^*$; ただし N はクラス名の集合を示す) は遷移規則の入力アスペクトのクラス名列であり、 $\beta (\in N^*)$ は遷移規則の出力アスペクトのクラス名列である。 $c(\alpha)$ は入力アスペクトに関する定性的/定量的な時制関係条件、あるいはこれらに対してブール操作を行った複合条件であり、遷移規則条件と呼ばれる。 α, β に現れる同一のクラス名は同一のアスペクトを表す。一方、同じクラスが定義する、複数の異なるアスペクトはクラス名に添字を付けることにより区別される。

[定義 2] 遷移規則 p の入力アスペクト集合を IA_p 、出力アスペクト集合を OA_p とする。この場合、各アスペクトは次のように規定される。

- (i) $(IA_p - OA_p)$ の要素は、削除アスペクトである。 p 適用前に、削除アスペクトの時区間の開始時刻は T_{OM} より前であり、終了時刻は ∞ である。 p

本論文では、大学卒業後に再度、大学生となる場合を想定しない。

適用後に, その時区間の終了時刻は T_{OM} に更新される.

- (ii) $(OA_p - IA_p)$ の要素は, 追加アスペクトである. p 適用後に, 時区間 $[T_{OM}, \infty]$ を持つアスペクトが作成される.
- (iii) $(IA_p \cap OA_p)$ の要素は, 文脈アスペクトである. p 適用前に, 文脈アスペクトの時区間の開始時刻は T_{OM} より前であり, 終了時刻は ∞ ではない. p 適用後に, その時区間は変わることはない.

以下では, 遷移規則の記述例を示す.

[規則記述例 1] 大学生になる場合, 高校生である時期が大学生である時期より以前である.

$p_{11} : @High-School-Student \rightarrow @University-Student$
 $p_{12} : @High-School-Student \rightarrow @High-School-Student@University-Student$

上記は, 高校生である時期と大学生となる時期が, 時間的に連続する場合と連続しない場合に分かれる. p_{11} では, $@High-School-Student$ は削除アスペクトであり, その時区間は $@University-Student$ の時区間に時間的に連続となる. 一方, p_{12} では, $@High-School-Student$ は文脈アスペクトであり, その時区間が $@University-Student$ の時区間に時間的に不連続となる.

[規則記述例 2] ある研究会では, 過去に幹事を経験している副委員長が委員長になることができる.

$p_2 : @Secretary@Vice-Chairperson \xrightarrow{cond_2} @Secretary@Chairperson$
 $cond_2: before(interval(@Secretary), interval(@Vice-Chairperson)) \text{ or } meets(interval(@Secretary), interval(@Vice-Chairperson))$

上記で, $@Secretary$ は $@Vice-Chairperson$ から $@Chairperson$ への OM 事象における時間軸上の文脈を規定している. $@Secretary$ の時区間は, $cond_2$ の条件より, $@Vice-Chairperson$ の時区間より以前となる.

[規則記述例 3] 助手は, 5 年以上経験した後に助教役に昇進することができる.

$p_3 : @Assistant-Professor \xrightarrow{cond_3} @Associate-Professor$
 $cond_3: (interval@Assistant-Professor).etp - interval(@Assistant-Professor).stp \geq period'05:00:00'$

上記で, $cond_3$ は OM 事象生起におけるアスペクトの開始時刻・終了時刻に関する定量的な時制関係条件であり, $@Assistant-Professor$ を 5 年以上経験していることを規定している. $cond_3$ におけるキーワード `period` に続く単一引用符中の文字列は, `years:months:days` 形式の期間リテラルを表す.

[規則記述例 1] では, OM 事象生起時と $@High-School-Student$ の時区間との関係に応じて, 2 つの遷移規則 p_{11}, p_{12} が示されている. こうした場合に対して, 遷移規則の理解の容易さ, 記述の軽減化を図るため, 遷移規則に構文糖衣を導入する. 以下に示す遷移規則 s_1 において, 記号 “*” が付された $@High-School-Student$ は削除アスペクトまたは文脈アスペクトを意味する. その下で, $@High-School-Student$ が削除アスペクトである場合には, s_1 は p_{11} を表す. また, $@High-School-Student$ が文脈アスペクトである場合には, s_1 は p_{12} を表す. 一般に, 記号 “*” が付された入力アスペクト n 個を持つ遷移規則は, OM 事象生起時と個々の入力アスペクトの時区間との関係が 2 通りの場合を持つため, 構文糖衣を取り去った遷移規則 2^n 個に相当することになる.

$s_1 : @High-School-Student^* \rightarrow @University-Student$

3.2 時制多重性制約の表現

要件 [MC1], [MC2], [MC3] より, 時制多重性制約は (1) オブジェクトが持つアスペクトの型の制限, (2) 任意の時刻における型ごとのアスペクト数の上限, (3) 同時には共存できないアスペクトの型の組を表現することが求められる. このための表現形式として, オブジェクトスキーマ¹⁴⁾ を用いる.

[定義 3] オブジェクトスキーマ要素 T は, $T = (C_1^{r(1)} | \dots | C_k^{r(k)})$ と定義される. ここで, C_j ($1 \leq j \leq k$) はクラス名を, $r(j)$ はクラス C_j あるいはその下位クラスが定義するアスペクトの上限数を表す. T に関して, 各項 $C_j^{r(j)}$ は排他的な指定である. また, $1 \leq p, q \leq k, p \neq q$ となる p と q について, C_p は C_q の上位クラスでも下位クラスでもない.

[定義 4] オブジェクトスキーマ OS は, 集合 $\{T_1, \dots, T_n\}$ と定義される. ここで, T_i ($1 \leq i \leq n$) はオブジェクトスキーマ要素であり, OS に従うオブジェクトが保持可能なアスペクトを指定する.

[定義 3] において, T の各項 $C_j^{r(j)}$ ($1 \leq j \leq k$) は, オブジェクトが C_j あるいはその下位クラスが定義するアスペクトをたかだか $r(j)$ 個持つことが可能であることを表す. C_p と C_q とは排他的な指定であり, 同時には存在することができないアスペクトの組に関する制約を表現するために使われる. C_p は C_q

の上位クラスでも下位クラスでもないので、 C_p, C_q あるいはこれらの下位クラスが定義するアスペクト自体が同時には存在することができないアスペクトの組に関する制約に違反することはない。また、 C_j はその下位クラスも含んだ指定であるため、抽象度の高いクラスをアスペクト指定に用いることにより、簡潔な(短い)記述のオブジェクトスキーマ要素を得ることが可能である。あわせて、抽象度の高いクラスによるアスペクト指定は広い範囲のオブジェクトの制約記述に適用可能であり、オブジェクトスキーマ数をいわずらに増加させることはない。以下は、オブジェクトスキーマの記述例である。ただし、オブジェクトスキーマ名は“#”で始まることとする。

[オブジェクトスキーマ記述例]

```
#PERSON={(@STUDENT1|@GRADUATE1),
           (@WORKER1), (@MANAGER2)}
```

オブジェクトスキーマ #PERSON に従うオブジェクトは、クラス @STUDENT, @GRADUATE, @WORKER, @MANAGER および各クラスの下位クラスのインスタンスをアスペクトとして保持可能である。ただし、@STUDENT と @GRADUATE のインスタンスは、同時にはこのオブジェクトのアスペクトにはなれない。アスペクト数に関しては、@MANAGER のインスタンスを 2 つまで、@STUDENT, @GRADUATE, @WORKER のインスタンスを各々 1 つだけ保持可能である。

4. オブジェクトマイグレーション振舞いモデリング

本章では、CPN を使った OM 振舞いモデルの構築法を述べる。これは、著者らが提案した OM 振舞いモデリング¹⁷⁾に基づいており、時制制約に従う OM に特化したものとなっている。

4.1 カラーペトリネット

OM における振舞いは、オブジェクトのアスペクト集合の状態と状態を変更する事象により定義される。OM の振舞いモデリング構築のため、本質的にアスペクトの型、状態と事象間の関係、事象の生起条件を表現可能であることより、カラーペトリネット (Colored Petri Net; CPN)⁹⁾を用いる。図 3 は、CPN の例である。CPN は、互いに素なノード集合であるプレース集合とトランジション集合、ならびにノード間を結ぶアーク集合からなる 2 部有向グラフ (bipartite directed graph) である。プレースは丸()で、トランジションは四角()あるいは棒(|)で表される。また、アークは (i) プレースからトランジションへの有

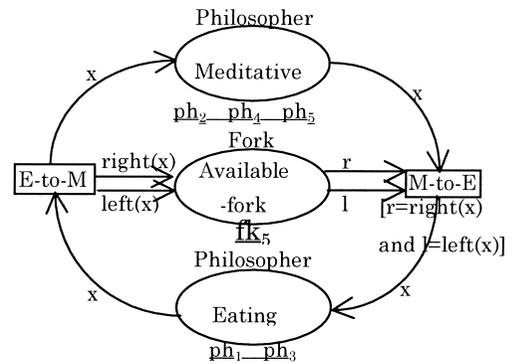


図 3 哲学者の食事の問題の CPN

Fig. 3 CPN for philosopher's dinner problem.

向枝、あるいは (ii) トランジションからプレースへの有向枝であり、矢印(→)で表される。(i)の場合、トランジションに対して、アークを入力アーク、プレースを入力プレースと呼ぶ。同様に、(ii)の場合、トランジションに対して、アークを出力アーク、プレースを出力プレースと呼ぶ。

プレースとトランジションの中に記述されている文字列は、各々を識別するラベルである。プレースの外側の下線が付されていない文字列はカラーと呼ばれ、プレースが持つことができるトークンの型を表す。トークンのプレースへの割当ては、マーキングと呼ばれる。プレースの外側の下線が付されている文字列は特に初期マーキングと呼ばれ、はじめにプレースに置かれるトークンを表す。また、プレースに割り当てられたトークンは、黒丸(●)でも表される。アークに付されている式はアーク式と呼ばれ、アーク式によって許可されたトークンだけがそこを通ることができる。トランジションの外側の式はガードと呼ばれる。トランジションは、その入力プレースにアーク式で示されたトークンが揃い、トランジションに対して定義されたガードが満たされたときに発火可能となる。ガードがない場合は、つねに条件が満たされているとして扱われる。トランジションの発火に際して、入力アークを通るトークンを入力トークン、出力アークを通るトークンを出力トークンと呼ぶ。発火により入力プレースからそれらのトークンが取り去られ、出力プレースにアーク式で示されたトークンが出力される。

図 3 は、CPN による哲学者の食事の問題に関するモデルである。プレース Meditative および Eating には哲学者を表す $\text{Philosopher} = \{ph_1, \dots, ph_5\}$ が、プレース Available-fork にはフォークを表す $\text{Fork} = \{fk_1, \dots, fk_5\}$ が割り当てられる。各哲学者が瞑想中/食事中であるかはプレース Meditative/Eating に、各

フォークが使用可能であるかはプレース Available-fork に、それぞれのトークンが存在することで表現される。アーク上の x, l, r は、変数である。また、right: Philosopher \rightarrow Fork, left: Philosopher \rightarrow Fork は次のような関数であり、各哲学者が右手、左手で使用できるフォークを返す。

$$\text{right}(\text{ph}_i) = \text{fk}_i \quad (i = 1, \dots, 5),$$

$$\text{left}(\text{ph}_i) = \text{fk}_{i+1} \quad (i = 1, \dots, 4), \text{left}(\text{ph}_5) = \text{fk}_1$$

トランジションは、その入力プレースにアーク式で示されたトークンが揃い、トランジションに対して定義されたガードが満たされたときに発火可能となる。そして、発火により入力プレースからそれらのトークンが取り去られ、出力プレースにアーク式で示されたトークンが出力される。たとえば、図3の初期マーキングの状態からトランジション E-to-M は $x = \text{ph}_1$ と $x = \text{ph}_3$ について発火可能であり、 $x = \text{ph}_1$ について発火させると、プレース Eating のトークン ph_1 が取り去られ、プレース Meditative に移動し、プレース Available-fork には $\text{right}(\text{ph}_1) = \text{fk}_1$ 、 $\text{left}(\text{ph}_1) = \text{fk}_2$ が出力される。

トランジションの発火の扱いを区別するため、以降ではトランジションを即時発火トランジションと非即時発火トランジションとに分ける。即時発火トランジションは発火可能となった時点でただちに発火し、図式表記では内部を塗りつぶした四角で表される。これに対して、非即時発火トランジションは発火可能となった時点で必ず発火するわけではなく、図式表記ではこれまでどおりの四角あるいは棒で表される。非即時発火トランジションでは、発火可能はあくまでも必要条件にすぎない。発火可能な即時発火トランジションが複数存在する場合、それらの発火系列は非決定的となる。

以降の CPN の図式表記において、簡略化等のために、プレース/トランジションのラベル、カラー、アーク式、ガードを省略することがある。また、プレースのラベルをその外側に記述することもある。さらに、プレースとトランジションとの間の同一のアーク式が付された逆向きの2本のアークを、両方向矢印を持つ1本のアークで代用することもある。

4.2 モデリングの概要

表2にオブジェクト指向の構成概念と CPN の構成概念との対応付けを示す。CPN による OM 振舞いモデルは、オブジェクトをその単位として構成される。アスペクトの形式を定義するクラスは、カラーに対応付けられる。クラスのインスタンスとなるアスペクトはカラートークンにより表され、対応するカラーを

表2 オブジェクト指向概念と CPN 概念との関係

Table 2 Relationship of object-oriented-concepts and CPN-concepts.

	オブジェクト指向概念	CPN 概念
1	オブジェクト	CPN
2	クラス	カラー
3	アスペクト	トークン
4	OM 事象	トランジション
5	妥当でないアスペクトの検出事象	トランジション
6	アスペクトの貯蔵庫	プレース
7	OM 関連事象とアスペクト間の関係	アーク
8	オブジェクトが保持するアスペクト集合の状態	マーキング

持つプレースに置かれる。任意のクラスに対応するカラーのプレースは、たかだか1つしか存在しない。したがって、同一のクラスが定義するアスペクトは、同じプレースに置かれる。また、オブジェクトが保持できないアスペクトを定義するクラスをカラーとして持つプレースは存在しない。OM 事象あるいはそれらともなう妥当でないアスペクトの検出事象は、トランジションにより表される。これらの事象とアスペクトは、トランジションとプレース間のアークにより関係付けられる。オブジェクトが保持するアスペクト集合は、マーキングにより与えられる。

トランジションの入力アーク上のアーク式は変数の形態をとる。トランジションの発火に際して、この変数には入力プレースに置かれているトークン、すなわちそれが表すアスペクトが束縛される。変数の有効範囲(スコープ)は、トランジションのガードおよびトランジションに出入りするアークに付されているアーク式の集合である。したがって、異なる有効範囲にある同一名の変数は、別ものとして扱われる。トランジションのガード、トランジションの出力アーク上のアーク式では、トランジションの入力アークの変数あるいは変数に束縛されるアスペクトの時区間の開始時刻・終了時刻を参照することができる。また、トランジションの出力アーク上のアーク式では、トランジションの入力アーク上の変数に束縛されるアスペクトの時区間の開始時刻・終了時刻を更新することもできる。さらに、トランジションの入力アークに付されていない変数、すなわち自由変数を出力アーク上のアーク式で用

紙面の都合より本論文では扱わないが、アスペクトの追加操作において、上位(下位)クラス関係に基づきアスペクトを一時的に保持するために各クラスに対応するカラーを持つプレースが別途導入される。しかし、ここではそれらのプレースは考慮に入っていないことを断っておく。詳しくは、文献17)を参照されたし。

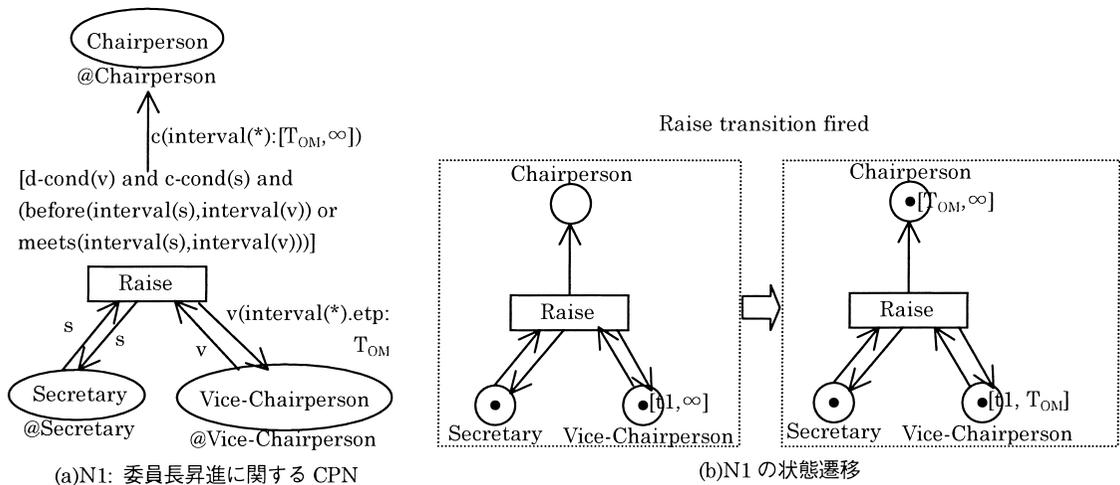


図 4 時制遷移制約に対する CPN

Fig. 4 CPN for temporal transitional constraint.

いることもできる。これはアスペクト生成の場合であり、自由変数には出力トークンの時区間の開始時刻・終了時刻が指定されても、されなくともよい。

本節で示したモデリングの概要では、トークンは時区間データが付されたアスペクトを表すことより、トランジションのガードにおいて定性的/定量的な時制関係の記述が、トランジションの出力アーク上のアーク式において時区間データの参照・更新が可能となっている。

4.3 時制遷移制約モデリング

時制遷移制約はオブジェクトが保持するアスペクト集合の変化を制限するものであり、個々の OM 事象の振舞い構造を規定する。OM 事象の振舞い構造を表す CPN を構成するため、関係するアスペクトを制限する述語 $d\text{-cond}$, $c\text{-cond}$ が使われる ([定義 2] 参照)。[定義 5] 削除アスペクトを規定する述語 $d\text{-cond}$ は、次のように定義される。ただし、 a はアスペクトを表す。

$$d\text{-cond}(a) = \text{interval}(a).\text{stp} < T_{OM} \\ \text{and interval}(a).\text{etp} = \infty$$

[定義 6] 文脈アスペクトを規定する述語 $c\text{-cond}$ は、次のように定義される。ただし、 a はアスペクトを表す。

$$c\text{-cond}(a) = \text{interval}(a).\text{stp} < T_{OM}$$

時制遷移制約の表現として、OM 事象の振舞い構造を表す CPN を遷移規則に基づき次のように構成する。なお、以降では、構文糖衣(記号 “*”)がない遷移規則を想定することを断っておく。

- 遷移規則に対して、OM 事象生起に対応して発火する非即時発火トランジションを用意する。そのガードは、遷移規則条件、削除アスペクト・文脈

アスペクトを規定する述語条件を論理積演算子で結合した複合条件とする。

- 遷移規則の削除アスペクトを表すトークンに関して、それらを置くプレースを上記のトランジションの入出力プレースとする。入力アーク、出力アークには同一の変数をアーク式として付ける。出力アーク上の変数の時区間の終了時刻は T_{OM} とする。
- 遷移規則の追加アスペクトを表すトークンに関して、それらを置くプレースを上記のトランジションの出力プレースとする。出力アーク上のアーク式となる自由変数の時区間は $[T_{OM}, \infty]$ とする。
- 遷移規則の文脈アスペクトを表すトークンに関して、それらを置くプレースを上記のトランジションの入出力プレースとする。入力アーク、出力アークには同一の変数をアーク式として付ける。

図 4(a) は、副委員長から委員長への昇進に関する条件付き・文脈依存の時制遷移制約 ([TTC2] 参照) に対する CPN を表す。プレース Vice-Chairperson, Chairperson, Secretary は、それぞれ Raise トランジションの入出力プレース、出力プレース、入出力プレースである。図 4(b) は、図 4(a) の CPN の状態遷移例を示す。ガードが満たされた状態で、Raise トランジションが発火すると、Vice-Chairperson プレースよりトークンが削除される。そして、Chairperson プレースに $[T_{OM}, \infty]$ を時区間とするトークンが挿入される。Vice-Chairperson プレースには、削除されたトークンの時区間の終了時刻を T_{OM} に更新したトークンが挿入される。また、Raise トランジションの発火に際して、Secretary プレースよりトークンが削除

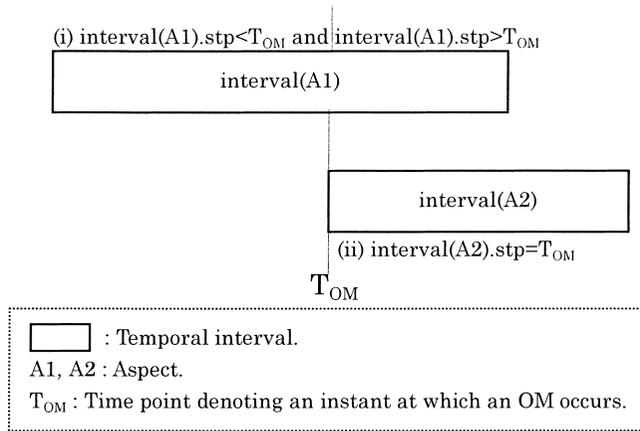


図 5 時制述語 exist の図式表現

Fig. 5 Diagrammatic representation of temporal predicate exist.

されるが、同じトークンが Secretary プレースに挿入される。すなわち、@Secretary アスペクトは、上記のアスペクト遷移における時間軸上の文脈の役割を担っている。また、Raise トランジションのガードは、(1)「副委員長が過去に幹事を経験している」という条件、(2) @Vice-Chairperson が削除アスペクトであるという条件、(3) @Secretary アスペクトが文脈アスペクトであるという条件を論理積演算子で結合した複合条件となっている。

4.4 時制多重性制約モデリング

時制多重性制約はオブジェクトが保持可能なアスペクト集合を制限するものであり、個々の OM 事象を対象とする時制遷移制約とは異なり、オブジェクトの生存期間全般においてつねに成立すべき条件を示す。本論文では、オブジェクトが時制多重性制約に違反することを回避するため、オブジェクトのアスペクト集合に対して、OM 事象生起直後に時制多重性制約の違反を検出する CPN を構成する。このため、OM 事象生起直後に任意のアスペクトが存在するか否かを確認する述語 exist が使われる。

[定義 7] 述語 exist は、次のように定義される。ただし、 a はアスペクトを表す。

$$\begin{aligned} \text{exist}(a) = & (\text{interval}(a).\text{stp} \\ & < T_{OM} \text{ and } \text{interval}(a).\text{etp} > T_{OM}) \\ & \text{or } \text{interval}(a).\text{stp} = T_{OM} \end{aligned}$$

述語 exist(a) の第 1 選言条件「interval(a).stp < T_{OM} and interval(a).etp > T_{OM} 」は、アスペクト a が OM 事象生起の前後で変わらず存在していることを示す。また、述語 exist(a) の第 2 選言条件「interval(a).stp = T_{OM} 」は、アスペクト a が OM 事

象生起による追加アスペクトであることを示す。すなわち、この両方が OM 事象生起直後に存在するアスペクトとなる(図 5 参照)。

時制多重性制約の表現として、その否定条件の成立により、制約違反を検出する CPN をオブジェクトスキーマに基づき次のように構成する。

- 時制多重性制約に対して、その違反が生じた場合に発火可能となる即時発火トランジションを用意する。
- 時制多重性制約に関係するアスペクトに対するトークンが置かれるプレースを上記のトランジションの入出力プレースとする。上記トランジションのガードとして、OM 事象生起直後に各アスペクトが存在することを条件とする。
- 時制多重性制約の違反検出を制御するトークンを置くためのプレース、ならびにそのトークンを出力するトランジションを用意する。
- 時制多重性制約の違反が検出された旨を示すトークンを置くためのプレース、ならびにそのトークンを削除するトランジションを用意する。

図 6 (a) は、アスペクト数の上限に関する時制多重性制約([MC2] 参照)に対する CPN を表す。SC-check2 トランジションは即時発火トランジションであり、ガードが示す同時に課長(@MANAGER)を 3 つ以上兼任する状態で、かつ制御プレース(C2)に Control トークンが置かれていると発火する。発火すると、制約違反状態を示す制御プレース(V2)に Control トークンが移動する。Manager プレースは SC-check2 トランジションの入出力プレースであり、両者は変数 $m1$, $m2$, $m3$ をアーク式とするアークの対により結ばれている。このため、発火時に入力プレース(Manager)

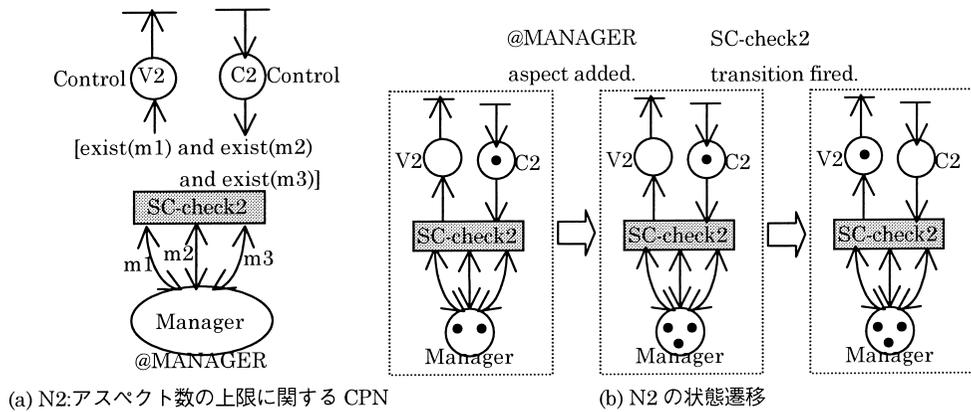


図 6 時制多重性制約 1 に対する CPN

Fig. 6 CPN for temporal multiplicity constraint type 1.

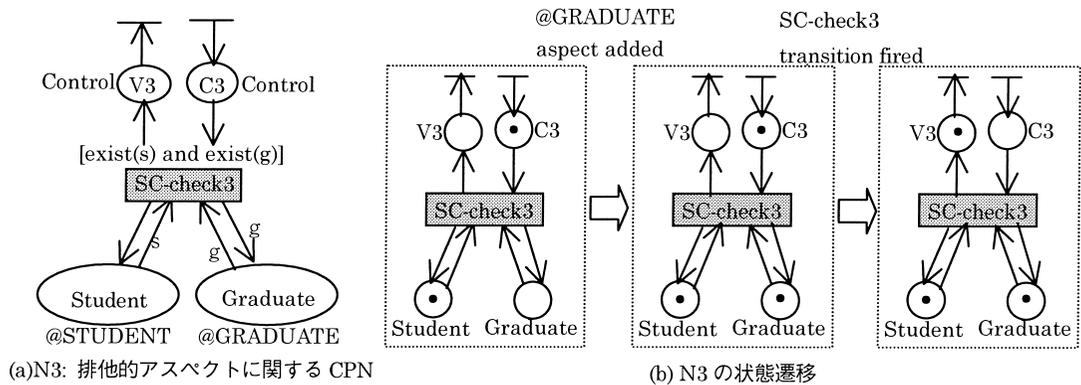


図 7 時制多重性制約 2 に対する CPN

Fig. 7 CPN for temporal multiplicity constraint type 2.

から削除された @MANAGER トークンは元どおり出力ブレース (Manager) に戻される。また、ブレース C2 に置かれるトークンは SC-check2 トランジションの発火を制御するとともに、発火が何度も起きることにより、ブレース V2 にトークンが無限に増加することを回避する。図 6 (b) は、図 6 (a) の CPN の状態遷移例を示す。SC-check2 トランジションは、@MANAGER アスペクトが 2 つ存在する状態で、3 つ目となるトークンが Manager ブレースに置かれ、かつガードが満たされると発火する。その結果、制約違反を示す Control トークンがブレース V2 に置かれる。

図 7 (a) は、排他的アスペクトに関する時制多重性制約 ([MC3] 参照) に対する CPN を表す。SC-check3 トランジションは即時発火トランジションであり、ガードが示す同時に在学生 (@STUDENT) であり、卒業生 (@GRADUATE) である状態で、かつ制御ブレース (C3) に Control トークンが置かれていると発火する。発火すると、制約違反状態を示す制御ブレース

(V3) に Control トークンが移動する。Student ブレースと Graduate ブレースは SC-check3 トランジションの入出力ブレースであり、両者は変数 s , g をアーク式とするアークの対により結ばれている。図 7 (b) は、図 7 (a) の CPN の状態遷移例を示す。SC-check3 トランジションは、@STUDENT アスペクトが存在する状態で、@GRADUATE アスペクトを表すトークンが Graduate ブレースに置かれ、かつガードが満たされると発火する。その結果、制約違反を示す Control トークンがブレース V3 に置かれる。

図 7 (a) は、排他的アスペクトに関する時制多重性制約 ([MC3] 参照) に対する CPN を表す。SC-check3 トランジションは即時発火トランジションであり、ガードが示す同時に在学生 (@STUDENT) であり、卒業生 (@GRADUATE) である状態で、かつ制御ブレース (C3) に Control トークンが置かれていると発火する。発火すると、制約違反状態を示す制御ブレース (V3) に Control トークンが移動する。Student ブレー

スと Graduate プレースは SC-check3 トランジションの入出力プレースであり、両者は変数 s, g をアーク式とするアークの対により結ばれている。図 7 (b) は、図 7 (a) の CPN の状態遷移例を示す。SC-check3 トランジションは、@STUDENT アスペクトが存在する状態で、@GRADUATE アスペクトを表すトークンが Graduate プレースに置かれ、かつガードが満たされると発火する。その結果、制約違反を示す Control トークンがプレース V3 に置かれる。

なお、4.2 節で述べたように、OM 振舞いモデルではオブジェクトが保持できないアスペクトを定義するクラスをカラーとして持つプレースは存在しない。したがって、[MC1] の要件は結果として満たされることになる。

5. 関連研究

本章では、本論文で提案した OM に関する時制制約と OM 振舞いモデリング法の関連研究について言及する。はじめに、OM に関する時制制約の扱いを目的とする従来研究がないことを断っておく。したがって、スナップショット・データベースの範囲に限定して、OM に関する一貫性制約の関連研究を述べる。

文献 9) では、オブジェクトは任意の時点において複数クラス (role set) に所属可能である。この下で、可能な role set 系列の集合が OM に関する動的制約であるとして、OM 系列の解析に関する理論的研究として、role set を更新する 3 種類のトランザクション言語に対する動的制約の特性化が行われている。これは、OM に対する形式的基盤の構築を目指した研究である。これに対して、本研究は記述レベルにおける制約表現と OM 振舞いモデルの構築を図るものである。

文献 12) では、OM はオブジェクト進化と呼ばれ、OM パターンの分類結果に基づき、OM の制御ルールの形式および制御機構に対する具体的な実装法が提示されている。本研究の枠組みとは異なり、OM の対象となるオブジェクトを参照する側からのルール記述も備えている。しかし、オブジェクトのクラスへの所属関係は更新可能であるが、オブジェクトは任意の時点においてただ 1 つのクラスにのみ所属するように制限されている。

文献 10) では、OM に関する一貫性制約の記述のため、本研究の (時制) 遷移制約と同様に、規則形式が使われている。しかし、本研究の (時制) 遷移制約の規則形式とは異なり、条件付き・文脈依存の制約記述は考慮されていない。また (時制) 多重性制約の記述は対象とされていない。以上より、OM に関する一貫

性制約の記述には不十分である。

文献 11) は、OM により引き起こされる「クラス C のオブジェクトのプロパティ P はクラス D の値をとる」といった型制約の競合問題を扱っている。そして、競合解消のためにデータベース状態間の距離に基づくオブジェクトのクラス変更/属性値変更によるデータベース調整機構が提案されている。本研究が意味のない、あるいは誤った OM 生起の回避を問題としているのに対して、文献 11) の調整機構は妥当でない OM 生起の修復を問題としている。OM 生起に対する修復問題、すなわち調整機構に関しては、今後の課題である。

次に、OM 振舞いモデリング法の関連研究について言及する。オブジェクト指向データベースの振舞いモデルに関する従来研究でもプレース・トランジション・ネット¹⁵⁾が使われてきた²²⁾。しかし、プレース・トランジション・ネットは低水準であり、データ構造を扱うことができない。これに対して、CPN のカラーはオブジェクトのデータ構造を表現可能であり、本研究では多面的オブジェクト指向データベースの OM 振舞いモデル構築のために CPN を採用している。

最後に、オブジェクトモデリング²³⁾のための図式表記に言及する。OMT 図²⁴⁾はオブジェクト指向ソフトウェアの開発に向けた図式記法である。本研究の OM 振舞いモデルに比して、OMT 図の適用範囲は広く、比較には注意を要する。しかし、おおまかには、OM 振舞いモデルは OMT 図の動的モデルと機能モデルをあわせたものといえる。すなわち、動的モデルの状態、状態遷移、遷移条件は、各々、CPN による OM 振舞いモデルにおけるトークンのマーキング、トランジション、ガードに対応付けられる。また、機能モデルの仕様は、CPN のアーク式により表される。一方、UML²⁵⁾は多種類の図式表記を提供しているが、その中の状態図が OM 振舞いモデルに相当する。本論文で提案した図式表記はオブジェクト指向ソフトウェアの開発全般を対象にしておらず、表 2 に示すように OM 振舞いモデリングに特化されている。OM 振舞いモデルでは、OMT 図の動的モデルと機能モデル、あるいは UML の状態図に相当する記述のみがその対象であり、かつこれらは 1 つの CPN に集約される。したがって、OM 振舞いモデルは、OMT 図や UML に比して、関連する仕様を簡潔かつ一元的に表現しているといえる。

6. まとめ

本論文では、スナップショット・データベースにおける OM に関する一貫性制約 (遷移制約・多重性制

約)を拡張し,オブジェクトのAspectに関する時制遷移制約・時制多重性制約を検討した.そして,時制遷移制約・時制多重性制約に対する表現形式を提示した.さらに,時制遷移制約・時制多重性制約の集合に基づくOM振舞いモデルを構築するため,CPNを用いたOM振舞いモデリング法¹⁷⁾を応用した.以下に,本論文の提案をまとめる.

- 提案されたOMに関する一貫性制約は多面的オブジェクト指向データモデルの特徴である多重性と動的性の両面を考慮している.また,時制制約に従うOMに関する唯一の提案である.
- 時制遷移制約の表現には,遷移規則¹⁴⁾が用いられる.ここでは,定性的な時制関係は時区間論理¹⁸⁾の時制関係により,定量的な時制関係はAspectの時区間データを参照することにより,記述される.また,時制多重性制約の表現にはオブジェクトスキーマ¹⁴⁾が用いられる.
- OM振舞いモデルはOM振舞いモデリング¹⁷⁾に基づいており,時制制約に従うOMに特化したCPNとなっている.このCPNでは,トークンは時区間データが付されたAspectを表すことより,トランジションのガードにおいて定性的/定量的な時制関係の記述が,トランジションの出力アーク上のアーク式において時区間データの参照・更新が可能となっている.

今後の課題として,時制制約の記述力を拡張するため,Aspectの時区間に関する集約値条件,Aspectの属性値に関する条件等の検討を予定している.後者は,多面的オブジェクト指向データモデルの時制データモデル化をとまなうことになる.また,著者らが行ったOMの枠組みの形式化¹⁴⁾を拡張して,時制制約を含めたOMの枠組みの再形式化は別の課題となる.

謝辞 本論文を改善するうえで査読者から,有益なご意見をいただきましたことに対し深謝いたします.

参 考 文 献

- 1) Cattel, R.G.G., et al.: *The Object Database Standard: ODMG2.0*, Morgan Kaufmann (1997).
- 2) Sciore, E.: Object Specialization, *ACM Trans. Office Information Systems*, Vol.7, No.2, pp.103-127 (1989).
- 3) Steing, L.A. and Zdonik, S.B.: Clovers: The Dynamic Behavior of Type and Instances, *Brown University Technical Report*, No.CS-89-42 (1989).
- 4) Richardson, J. and Schwarz, P.: Aspects: Extending Object to Support Multiple, Independent Roles, *Proc. ACM International Conference on Management of Data*, pp.298-307 (1991).
- 5) 塚田晴史, 杉村利明: MACモデル: 複数視点からの分類が可能なオブジェクト, コンピュータソフトウェア, Vol.11, No.5, pp.44-57 (1994).
- 6) 石丸知之, 植村俊亮: オブジェクト指向データモデルにおけるオブジェクトの多重表現, 電子情報通信学会論文誌(D-I), Vol.J78-D-I, No.3, pp.349-357 (1995).
- 7) Aritsugi, M. and Makinouchi, A.: Design and Implementation of Multiple Type Objects in a Persistent Programming Language, *Proc. COMPSAC 95*, pp.70-76 (1995).
- 8) Gottlob, G., Schrefl, M. and Rock, B.: Extending Object-Oriented System with Roles, *ACM Trans. Information Systems*, Vol.14, No.3, pp.268-296 (1996).
- 9) Su, J.: Dynamic Constraints and Object Migration, *Proc. International Conference on Very Large Data Bases*, pp.233-242 (1991).
- 10) Qing, L. and Guozhu, D.: A framework for object migration in object-oriented databases, *Data and Knowledge Engineering*, Vol.13, pp.221-242 (1994).
- 11) Mendelzon, A.O., Milo, T. and Waller, E.: Object Migration, *Proc. PODS94*, pp.232-242 (1994).
- 12) 鬼塚 真, 山室雅司, 石垣昭一郎: オブジェクト進化を実現するクラスベースのオブジェクト指向データベース設計法, 電子情報通信学会論文誌(D-I), Vol.J79-D-I, No.10, pp.803-810 (1996).
- 13) 佐藤秀樹, 池田峰輝, 舟橋 栄, 林 達也: 多面的オブジェクト指向データモデル MAORI, 電子情報通信学会論文誌(D-I), Vol.J79-D-I, No.10, pp.781-790 (1996).
- 14) 佐藤秀樹, 舟橋 栄, 林 達也: 多面的オブジェクトに対するオブジェクトマイグレーションの枠組み, 電子情報通信学会論文誌(D-I), Vol.J81-D-I, No.3, pp.271-282 (1998).
- 15) Peterson, J.L.: *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*, North Holland (1981).
- 16) Sato, H. and Hayashi, T.: Object Migration Behavior Modeling with Petri-Nets, *Proc. IASTED International Conference, Artificial Intelligence and Soft Computing*, pp.250-253 (1998).
- 17) 佐藤秀樹, 林 達也: カラーペトリネットによるオブジェクトマイグレーションの振舞いモデリング, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.40, No.SIG8 (TOD 4), pp.13-28 (1999).
- 18) Allen, J.F.: Maintaining Knowledge about

- Temporal Intervals, *Comm. ACM*, Vol.26, No.11, pp.832-843 (1983).
- 19) Jensen, K.: Coloured Petri Nets: A High Level Language for System Design and Analysis, *Advances in Petri Nets 1990*, Rozenberg, G. (Ed.), Lecture Notes in Computer Science, Vol.483, pp.342-416, Springer-Verlag (1990).
- 20) Snodgrass, R.T.: Temporal Object-Oriented Databases: A Critical Comparison, *Modern Database Systems*, Kim, W. (Ed.), pp.386-408, Addison-Wesley (1995).
- 21) Snodgrass, R.T.: Temporal, *Advanced Database Systems*, Zaniolo, C. (Ed.), pp.97-126, Morgan Kaufmann (1997).
- 22) 酒井博敬: オブジェクト指向データベース設計, 情報処理, Vol.32, No.5, pp.568-576 (1991).
- 23) Booch, G.: *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*, Addison-Wesley (1994).
- 24) Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F. and Lorenzen, W.: *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice-Hall (1991).
- 25) Fowler, M. and Scott, K.: *UML DISTILLED: Applying the Standard Object Modeling Language*, Addison-Wesley (1997).

(平成 12 年 9 月 20 日受付)

(平成 12 年 12 月 27 日採録)

(担当編集委員 吉川 正俊)



佐藤 秀樹(正会員)

1975 年名古屋大学工学部電気電子工学科卒業(株)富士通研究所,(株)デンソーを経て,1998 年より愛知学泉大学コミュニティ政策学部助教授・博士(工学).データベースの研究に従事.電子情報通信学会,ACM,IEEE Computer Society 各会員.



牧之内顕文(正会員)

1968 年京都大学工学部電子工学科卒業.1970 年グルノーブル大学理学部応用数学科 Docteur-Ingenieur 取得.富士通(株)(株)富士通研究所,九州大学工学部教授,同大学院システム情報科学研究科教授を経て,2000 年同大学院システム情報科学研究院教授.工学博士.電子情報通信学会,ACM,IEEE Computer Society 各会員.