

Linked Data におけるあいまいな時間の記述

関野 樹（国際日本文化研究センター）

コンピュータ上でのあいまいな時間の扱いは、歴史や考古などの人文科学の諸分野で大きな問題となってきた。本研究では、あいまいな時間を RDF (Resource Description Framework) 形式で記述する方法を確立し、それらをセマンティック Web 技術による Linked Data の仕組みの中で扱うことを可能にした。記述には主として OWL-Time に則って行われたが、あいまいな時間に関連するいくつかの新たな語彙が本研究で定義された。

Notation of uncertain time for linked data

Tatsuki Sekino (International Research Center for Japanese Studies)

Processing uncertain time on computers is a difficult issue especially in humanities such as history and archeology. This study established notation of the uncertain time as RDF (Resource Description Framework) date, and make possible to process them in linked data mechanism using semantic Web technology. Although the most of the notations are according to OWL-Time, some vocabularies associated with the uncertain time were newly defined in this study.

1. まえがき

時間は、さまざまな情報に付随する共通の基軸であることから、時間に基づいて情報の可視化や解析を行うさまざまなソフトウェアやサービスが存在する。コンピュータ上の処理では、時間は日まで確定していることが前提となっていることが多く、「2018-12-01」といった ISO 8601 形式のデータ以外は受け付けないソフトウェアやサービスも少なくない。ところが現実には、常に完全な時間データが得られるとは限らない。「平成 30 年頃」「元禄年間」「近世」といったあいまいな時間表現を伴うデータが数多く存在しており、歴史や考古など、過去の情報を扱う人文科学の諸分野を中心に大きな問題となってきた。

あいまいな時間のデータ化やコンピュータ上での処理については、これまでもさまざま研究が行われてきた[1]。特に、期間の始点や終点のあいまいさについては、ファジー集合[2]やラフ集合[3]、もしくは、その両方[4]を使った研究が試みられている。しかしながら、あいまいな時間を扱うためのこうした論理が提案される一方で、実用的なシステムへの実装はあまり進んでいない。

こうした中、あいまいな時間を Linked Data として扱うための新たな論理が提案された[5]。Linked Data は、セマンティック Web 技術などを用いてデータを相互に連携させる仕組みであり、近年、急速な広がりを見せている[6]。したがって、この新たな論理は、あいまいな時間を含むデータを多く抱える人文科学の諸分野にとって、大きな意義を持つことになる。

本研究では、この新たな理論に則って、あいまいな時間をセマンティック Web 技術で用いられ

る RDF (Resource Description Framework) 形式のデータとして記述する方法を検討し、論理を実装段階へと導く。なお、時間を記述するための語彙として、昨年、World Wide Web Consortium (W3C) より、Web Ontology Language (OWL) [7]の枠組みで時間を扱うための新たな規格 (OWL-Time) が勧告された[8]。これは、時間データの記述方法の標準として、今後普及すると予想される。このため、本研究で検討されるあいまいな時間の記述方法も、この OWL-Time との関連付けを視野に入れる。これにより、OWL-Time に則って構築されたデータとも連携しながら、あいまいな時間を使った検索や解析を実現するための基盤を整えることができる。

2. あいまいな時間

記述方法の検討の前に、対象となるあいまいな時間の論理[5]の概要を述べる。まず前提として、期間は2つの時間点（始点・終点）で示される連続した区間である。始点は当該期間に含まれるが、終点は当該期間に含まれないものとする（半開区間）。また、その区間の長さが期間長であり、期間長が0の期間は、時間点として扱うことができる。

ここで、ある期間の片方または両方の端点の時間軸上の位置が確定しておらず、一定の時間範囲として表される期間をあいまいな期間 (Uncertain Time Interval) とする。当然、あいまいな期間では、期間長も確定しておらず、一定の値の範囲をとる。これらの時間軸上の位置が確定していない期間または時間点、および、値が確定していない期間長を総称して「あいまいな時間」とする。

2-1. あいまいな期間

あいまいな期間は、その期間に含まれることが確実な範囲(確実期間:Reliable Time Interval)と、その期間に含まれる可能性がある範囲(可能期間:Possible Time Interval)に分けて考えることができる(図1)。たとえば、「1980年代から2010年代」と表現される期間(図1のa)では、1990年1月1日から2009年12月31日は当該期間に必ず含まれるので、この時間範囲が確実期間となる。一方、可能期間は、この期間がとり得る最大の時間範囲を示しており、1980年1月1日から2019年12月31日となる。見方を変えれば、1979年12月31日以前と2020年1月1日以降は当該期間に含まれないことが確実である。このように、あいまいな期間は4つの時間点、つまり、確実期間の始点(a_{Rb})と終点(a_{Re})、および、可能期間の始点(a_{Pb})と終点(a_{Pe})で表現される。そして、始点がとり得る時間範囲は、可能期間の始点から確実期間の始点まで($a_{Pb} \sim a_{Rb}$)、終点がとり得る時間範囲は、確実期間の終点から可能期間の終点まで($a_{Re} \sim a_{Pe}$)となる。

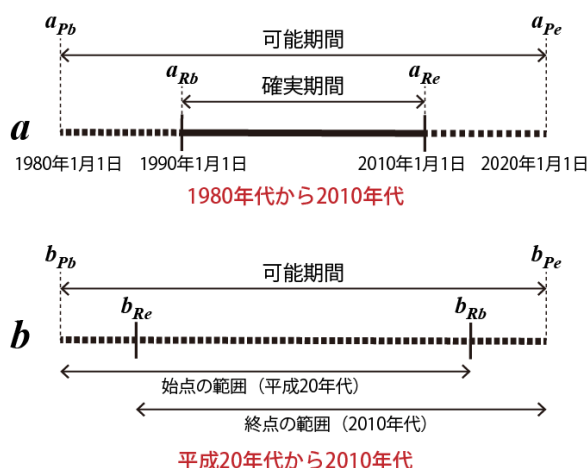


図1 あいまいな期間の例。aは「1980年代から2010年代」を表すあいまいな期間。両端点のとり得る範囲が重ならないため、当該期間に含まれることが確実な期間(確実期間)が存在する。bは「平成20年代から2010年代」を表すあいまいな期間。両端点のとり得る範囲が重なるため、確実期間は存在しない。ただし、確実期間の端点の位置は前後が逆転した状態で残される。

Figure 1 Samples of uncertain time interval. a shows an uncertain time interval described as “from 1980s until 2010s.” Since temporal ranges in which the beginning and ending points can exist, do not overlap, the reliable time interval exists. b shows an uncertain time interval described as “from Heisei 20s until 2010s.” Since temporal ranges in which the beginning and ending points can exist, overlap each other, the reliable time interval does not exist. Temporal positions of the beginning and ending points of the reliable time interval are left though the positions are reversed.

この考え方に則ると、始点がとり得る範囲と終点がとり得る範囲が重なる場合(図1のb)は、確実期間の始点(b_{Rb})と終点(b_{Re})の前後関係が逆転する。この場合は、確実期間は存在しないものとする。

これらの確実期間と可能期間は、それぞれ、ラフ集合の下近似と上近似[3]に近い考え方である。しかしながら、ラフ集合では、図1のbの場合に下近似が存在しない。一方、本研究のあいまいな期間では、確実期間は存在しないものの、その端点の位置(b_{Rb} と b_{Re})が逆転した状態で残される。これらの残された値は、あいまいな期間同士の相対関係を考える上で必要となる[5]。

確実期間と可能期間が一致している場合は、その期間にはあいまいな部分はない。つまり、その期間は、確定期間(Determinate Time Interval)である。

あいまいな期間では、端点が時間点ではなく、期間として与えられる。「1980年代」などの暦に基づく期間は端点が確定している確定期間であるが、「バブル景気」のような端点が確定できないあいまいな期間が用いられる場合もある(例:バブル景気以降)。この場合は、参照されたあいまいな期間の可能期間が新たなあいまいな期間の端点がとり得る範囲となる[5]。

2-2. あいまいな期間同士の相対関係

あいまいな期間同士が相対的にどのような関係をとるのかについても検証がなされている[5]。期間同士の相対関係については、2つの期間同士がとり得る関係を13通りに分類した Allen's Time Interval Algebra [9] (図2, 以下, Allenの時間関係)が OWL-Time を含め、時間情報の記述や解析に広く用いられている。

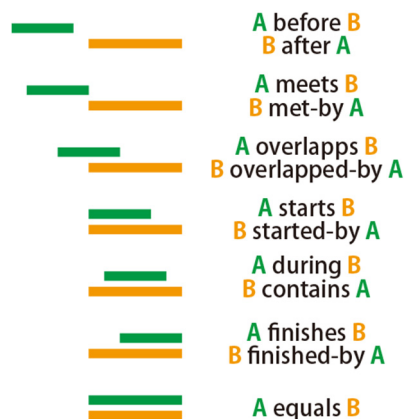


図2 Allen's Time Interval Algebra (Allenの時間関係) [9]. 2つの期間がとり得る相対関係が13通りに分類されている。

Figure 2 Allen's Time Interval Algebra [9]. Relative relationships between time intervals are classified into 13 types.

図 3は, Allen の時間関係の1つである before 関係について示したものである. 確定期間同士の before 関係では, 一方の期間の終点がもう一方の期間の始点の前に位置しており, 両者は接していない (図 3の確定期間). この関係がオリジナルの Allen の before 関係である (図 2).

一方, あいまいな期間では, あいまいな範囲の位置関係に応じて相対関係の状態が異なってくる. 図 3のあいまいな期間の1つ目の例では, 期間 a の終点の範囲が期間 b の始点の範囲の前にある (つまり, $a_{pe} < b_{pb}$). したがって, これらの期間のあいまいな範囲がどのような形に確定しようと, 両者は必ず Allen の before 関係となる. このような関係を「確実な関係」(Reliable Relation) と称する. 続く2つの例では, 期間 a の終点の範囲と b の始点の範囲が重なっているものの ($a_{pe} \geq b_{pb}$), 実線で示された確実期間は重なっていない ($a_{Re} < b_{Rb}$). したがって, 期間 a と b のあいまいな範囲が確定した状態によって, 両者が重なる場合もあるし, 重ならない場合もある. つまり, Allen の before 関係を取りえる可能性はあるものの, meets や overlaps 関係をとる可

能性もあり, before 関係について確実ではない. このような関係を「可能な関係」(Possible Relation) と称する. さらに図1の最後の例のように, あいまいな期間 a と b の確実期間が重なる場合は ($a_{Re} \geq b_{Rb}$), 2つの期間が重なることが既に確実であり, 両者が接しないという Allen の before 関係の条件を満たせない. したがって, 両者がどのように確定しようとも, Allen の before 関係とはならない. このような関係を「不可能な関係」(Impossible Relation) と称する.

このように, あいまいな期間同士の相対関係では, 1つの Allen の関係について, 確実, 可能, 不可能の3つの状態が存在する. これらの各状態をとる条件は, Allen の13通りの関係すべてについて, 既に明らかにされている[5]. さらに, 1組のあいまいな期間同士について, 13通りすべての相対関係を考えると, 1つの確実関係と12の不可能な関係, または, 2つ以上の可能な関係と残りの数の不可能な関係, のどちらかの状態をとることが明らかにされている[5]. つまり, 後者の場合は, 期間同士の相対関係についても「あいまい」な状態となっている.

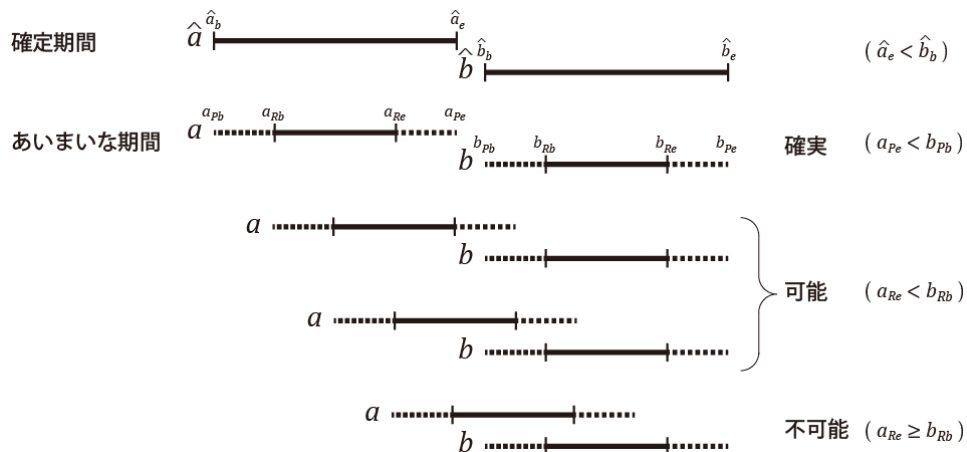


図 3 期間同士の相対関係 (Allen の before 関係の例). 1 番上の確定期間同士の関係がオリジナルの Allen の before 関係で, 両期間が離れている. あいまいな期間では端点の位置があいまいなため (点線で示された範囲), 1 つの Allen の関係に対して, 確実, 可能, 不可能の3つの状態をとる.

Figure 3 Relationships between time intervals (in case of Allen's before relation). The relationship between determinate time intervals shown on the top is the original Allen's before relation in which the intervals are disconnected. Since the beginning and the ending points in an uncertain time interval are uncertain (shown as dotted line), there are three states of reliable, possible and impossible for an Allen's relation.

3. あいまいな時間の記述

本研究では, あいまいな期間とそれらの相対関係を RDF で記述する方法を確立する. 記述に用いる語彙は, 可能な限り OWL-Time で定義されている語彙を用いるが, それらで記述できない場合は, 新たに語彙を定義し, 既存の HuTime オントロジーに追加する. 本稿では, 以降, これらの語彙を記述するためのプレフィックスとして以下のとおり hutime:を用いる.

@prefix hutime:

<<http://resource.hutime.org/ontology/>>

なお, これらの語彙に割り当てられた URI にアクセスすることにより, 定義が記述された RDF スキーマのファイルを得ることができる.

3-1. あいまいな期間の記述

まず, あいまいな期間を表すクラスが必要であるが, OWL-Time で扱われる期間は端点が確定

した確定期間のみであり、該当するものがない。このため、あいまいな期間を表すクラスとして新たに `hutime:UncertainTimeInterval` を定義する。また、あいまいな期間を表現するための4つの時間点(図 1参照)を記述するためのプロパティも以下のとおり定義する。

可能期間の始点：`hutime:hasPossibleBegin`

可能期間の終点：`hutime:hasPossibleEnd`

確実期間の始点：`hutime:hasReliableBegin`

確実期間の終点：`hutime:hasReliableEnd`

あいまいな期間の4つの端点は時間点であるため、これらのプロパティの値域の型(RDFの目的語となるクラス)は、**OWL-Time** の時間点(`time:Instant`)である。一方、定義域の型(RDFの主語となるクラス)は、あいまいな期間(`hutime:UncertainTimeInterval`)である。

あいまいな期間は、その端点がとり得る範囲を指定する方法でも記述できる。これについても、**OWL-Time** では端点を時間点でしか表すことができないため、端点のとり得る範囲を示す以下のプロパティを定義する。

始点の範囲：`hutime:hasRangeOfBegin`

終点の範囲：`hutime:hasRangeOfEnd`

これらプロパティの値域の型はあいまいな期間(`hutime:UncertainTimeInterval`)であり、端点がとり得る範囲を別のあいまいな期間で表現できることを意味している。この場合の端点がとり得る範囲は、参照されたあいまいな期間の可能期間となる[5]。

3-2. あいまいな期間同士の関係の記述

期間同士の関係については、Allen の時間関係に基づいた表現が普及しており、**OWL-Time** についても同様である。しかしながら、あいまいな期間では、1つの Allen の関係に対して確実、可能、不可能の3つの状態をとる(図 3)。このため、それぞれの状態を表す語彙を新たに定義する。たとえば、Allen の `before` 関係を表すプロパティは以下のとおりとなる。

確実な `before` 関係：`hutime:reliableBefore`

可能な `before` 関係：`hutime:possibleBefore`

不可能な `before` 関係：`hutime:impossibleBefore`

OWL-Time の場合(参考)

`before` 関係：`time:intervalBefore`

新たに定義されたこれらのプロパティでは、定義域、値域とも `hutime:UncertainTimeInterval` である。一方、**OWL-Time** では、定義域、値域とも `time:ProperInterval` である。

2-3. OWL-Time との関係

今後、多くの時間情報が **OWL-Time** を使って記述されると予想される。このため、**OWL-Time** で記述されたデータを本研究のあいまいな時間の枠組みで処理する仕組みを整えることは、あいまいな時間の適用範囲を広げるのに有効である。

OWL-Time では、期間は端点が時間点として確定していることが前提である。一方、あいまいな期間では端点は期間として表されるものの、この期間長が0であれば、確定した状態と同じである。つまり、**OWL-Time** での期間は、あいまいな期間の1つと考えることができる。このため、**OWL-Time** で期間を表す主なクラスである `time:ProperInterval` を、あいまいな期間 `hutime:UncertainTimeInterval` のサブクラスとして再定義することができる。これにより、**OWL-Time** の `time:ProperInterval` として記述された時間情報を、あいまいな期間の枠組みで処理することが可能になる。例えば、可能な Allen の `before` 関係を表す `hutime:possibleBefore` の定義域および値域は、あいまい期間であるが、あいまいな期間のサブクラスとして再定義された `time:ProperInterval` を用いることも可能となる。

同様に、期間同士の相対関係についても、**OWL-Time** との関連付けができる。**OWL-Time** で定義されている Allen の時間関係の各プロパティは、確定期間を対象にしたものであるため、それらの相対関係は1つに定まる。つまり、本研究での確実な関係と同じと考えることができる。このため、**OWL-Time** の Allen の時間関係の各プロパティを、本研究の確実な関係を示す各プロパティのサブプロパティとして再定義することができる。たとえば、**OWL-Time** の `time:intervalBefore` は `hutime:reliableBefore` のサブプロパティとして再定義することができる。これにより、`time:intervalBefore` を使って記述された相対関係を `hutime:reliableBefore` として、あいまいな時間の枠組みで処理することが可能となる。

一方、**OWL-Time** の枠組みの中で **HuTime** オントロジーに基づくリソースを扱えるようにすることも有用である。特に **HuTime** 暦 `Linked Open Data (LOD)` [10]で公開している年号および年月日を表す各リソースは、確定期間として扱うことができるため、多くの需要があると予想される。そこで、**HuTime** 暦 `LOD` が出力する年号および年月日を示す各リソースの型を **OWL-Time** で標準的な期間を表す `time:ProperInterval` とした。次に、暦法の種類を表すリソースを **OWL-Time** の時間参照系を表すクラス `time:RST` のサブクラスとして再定義した。これらの再定義により、和暦などの日付を表す期間を **OWL-Time** での記述に用い

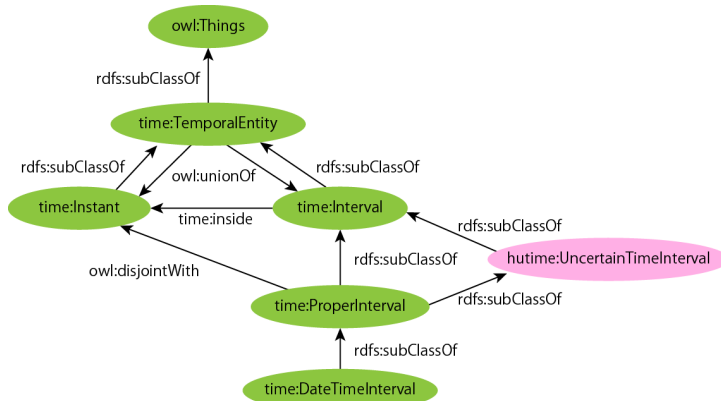


図 4 時間点および期間を表す OWL-Time のクラスと本研究で定義されたあいまいな期間を表すクラス (hutine:UncertainTimeInterval). あいまいな期間のクラスが OWL-Time のクラスの中に位置付けられる.

Figure 4 Classes of time instant and interval defined in OWL-Time and a class of uncertain time interval defined in this study (hutine:UncertainTimeInterval). The class of uncertain time interval is placed into the OWL-Time classes.

ることが可能になる. なお, OWL-Time の `time:ProperInterval` はあいまいな期間 `hutine:UncertainTimeInterval` のサブクラスとして再定義されているため, 暦 LOD が出力する年号および年月日のリソースをあいまいな期間の枠組みでも扱うことも可能である.

2-4. あいまいな時間の記述例

図 5は, 本研究で新たに定義された語彙を用いながらあいまいな期間を記述した例である. 記述されている2つのあいまいな期間のうち, 前者の `ex:SampleTerm1`では, 始点の範囲は可能期間と確実期間の始点の値として, また, 終点の範囲は OWL-Time の `time:ProperInterval` により指定されている. これらの期間の端点は, ISO 8601形式で指定された時間点である. 一方, 後者のあいまいな期間 `ex:SampleTerm2`では, 端点の範囲を示す期間に, HuTime 暦 LOD が用いられている. 始点の範囲として和暦の年号「元禄」を示すリソースが, 終点の範囲として和暦の年「享保21年」を示すリソースがそれぞれ指定されている. これは, 年号や年を表すクラスの `hutine:CalendarEra` や `hutine:CalendarYear` が OWL-Time の `time:ProperInterval` のサブクラスとして再定義されたことで可能となった. その上で, `ex:SampleTerm1`の記述の中に, これら2つのあいまいな期間の相対関係が Allen の `before`, `meets`, `overlaps` 関係について可能であることが示されている.

4. 展望と課題

本研究では, あいまいな時間を記述するための語彙が新たに定義され, HuTime オントロジーに追加された. そして, これらの語彙と OWL-Time の語彙を用いて, あいまいな期間を RDF で記述することが可能になった.

あいまいな期間では, その端点の範囲を別のあいまいな期間で指定することができる[5]. これにより, 「元禄年間に存在した建物で生まれた人物」

の生存期間を, セマンティック Web 技術を通じて次のように表現することができる. まず, 建物の存在期間を, 元禄年間を表す HuTime 暦 LOD のリソースで記述する. 次に, この建物の存在期間を使って, 当該人物の生年がとり得る範囲を記述する. 端点がとり得る期間を表すあいまいな期間を順々に辿ることにより, 元の定義に遡ることも可能である.

```
@prefix time: <http://www.w3.org/2006/time#>
@prefix hutime: <http://resource.hutime.org/ontology/>
@prefix hcal: <http://datetime.hutime.org/calendar/>
```

```
ex:SampleTerm1
  a hutime:UncertainTimeInterval ;
  hutime:hasPossibleBegin [
    a time:Instant ;
    time:inXSDDate 1600-01-01^^xsd:date ] ;
  hutime:hasReliableBegin [
    a time:Instant ;
    time:inXSDDate 1610-01-01^^xsd:date ] ;
  hasRangeOfEnd [
    a time:ProperInterval ;
    time:hasBeginning [
      a time:Instant ;
      time:inXSDDate 1680-01-01^^xsd:date ] ;
    time:hasEnd [
      a time:Instant ;
      time:inXSDDate 1690-01-01^^xsd:date ]
    ];
  hutime:possibleBefore ex:SampleTerm2 ;
  hutime:possibleMeets ex:SampleTerm2 ;
  hutime:possibleOverlaps ex:SampleTerm2 .
```

```
ex:SampleTerm2
  a hutime:UncertainTimeInterval ;
  hutime:hasRangeOfBegin hcal:1001.1/era/元禄 ;
  hutime:hasRangeOfEnd hcal:1001.1/year/享保21年 .
```

図 5 あいまいな期間を記述した RDF データの例 (RDF Turtle による表記). 1 つめの期間 (SampleTerm1) は OWL-Time を直接使って記述されており, 2 つめの期間 (SampleTerm2) は OWL-Time に関連付けられた HuTime 暦リソースを使って記述されている.

Figure 5 A sample RDF data of uncertain time intervals (described by RDF Turtle). The first time interval (SampleTerm1) is described according to OWL-Time, and the second time interval (SampleTerm2) is described using HuTime Calendar Resources which are associated with OWL-Time.

本研究では、あいまいな期間同士の相互関係についても RDF による記述を確立した。これにより、図 5 のようなあいまいな相対関係（複数の Allen の時間関係がとり得る状態）を記述することが可能になった。これは、考古学で扱う事象のように、時間軸上の位置は特定できないものの、相対関係は判明している事象の柔軟かつ統一的な記述を実現する。

さらに、あいまいな期間やその相対関係が RDF で記述できるため、SPARQL [11]を使った新たな検索が可能となる。つまり、従来の「期間〇〇に含まれるデータ」だけでなく、「期間〇〇に含まれる可能性のあるデータ」を区別して検索することができるようになる。

一方で、あいまいな期間とそれらの相対関係の記述方法は確立したものの、あいまいな時間長については手つかずの状態である。これは、OWL-Time での期間長の扱いが期間や相対関係とはやや異なることによる。OWL-Time では、時間点、期間および期間同士の相対関係については、論理モデルが厳密に定義されているものの、期間長はその表現方法が定められているのみで、論理モデルが十分には検討されていない。あいまいな期間長を記述するには、あいまいな期間の端点がとり得る範囲との関係など、論理的な構造を考慮する必要があることから[12]、本研究では扱わず、今後の課題とした。

また、あいまいな期間は、4つの値により表現される場合と、端点がとり得る範囲により表現される場合があり、両者の論理的な関係も既に明らかになっている。しかしながら、それぞれの方法で表現された RDF データをどのように関連付けるは、OWL での記述や SPARQL の関数としての実装が想定されるものの、まだ具体的な解決には至っていない。同様に OWL-Time で定義されている期間の `time:ProperInterval` をあいまいな期間 `hetime:UncertainTimeInterval` のサブクラスとして再定義したが、これらの RDF データをどのように変換するのも今後の課題の1つである。

さらに、日付を表す文字列の標準である ISO 8601の改定が進んでおり、年月日の一部が不確定な日付の記述方法も近々正式な規格となる見込みである (ISO 8601-2) [13]。これらの記述を本研究が提案する記述方法に則った RDF に変換する仕組みも、既存データの活用や RDF の生成を容易にするという点で、必要になると考えられる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費15H01723「セマンティック・クロノロジー：時間軸に沿った知識の可視化と利用に向けた基盤構築」の助成を受けたものである。また、部分的に、JSPS 科研費16H01897, 16H01830, 16H02918, 17H00773, 18H03588の助成を受けている。

参考文献

- [1] Billiet, C and De Tré, G. The Role of Computational Intelligence in Temporal Information Retrieval: A Survey of Imperfect Time in Information Systems. Andreasen, T. et al. (ed.), Flexible Query Answering Systems 2015, Springer, 2016, p. 41-56.
- [2] Billiet, C, Pons, J E, Matthé, T, De Tré, G, and Pons Capote, O. Bipolar fuzzy querying of temporal databases. Christiansen, H. et al. (ed.), FQAS 2011. LNCS, 2011, p. 60-71.
- [3] Asmussen, K, Qiang, Y, DeMaeyer, P, and Van DeWeghe, N. Triangular Models for Studying and Memorising Temporal Knowledge. Proceedings of the International Conference on Education, Research and Innovation, 2009, p. 1849-1859.
- [4] Qiang, Y, Delafontaine, M, Asmussen, K, Stichelbaut, B, De Maeyer, P, and Van De Weghe, N. Modelling imperfect time intervals in a two-dimensional space, Control and Cybernetics, Vol. 39, No. 4, 2010, p. 983-1010.
- [5] Sekino, T. Using uncertain time intervals in Linked Data. International Journal of Geoinformatics, 2018 (in press).
- [6] Bizer, C, Heath, T, and Berners-Lee, T. Linked Data - The Story So Far. International Journal on Semantic Web and Information Systems, Vol. 5, No. 3, 2009, p. 1-22.
- [7] World Wide Web Consortium (W3C). OWL. <https://www.w3.org/OWL/> (参照2018-10-22).
- [8] World Wide Web Consortium (W3C). Time Ontology in OWL. <https://www.w3.org/TR/owl-time/> (参照2018-10-22).
- [9] Allen, J. Maintaining knowledge about temporal intervals. Communications of the ACM, 1983, Vol. 26, No. 11, p. 832-843.
- [10] Sekino, T. Basic linked data resource for temporal information. Proceedings of the 2017 Pacific Neighborhood Consortium Annual Conference and Joint Meetings (PNC), 2017, p. 76-82.
- [11] World Wide Web Consortium (W3C). SPARQL Query Language for RDF. <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/> (参照2018-10-22).
- [12] Sekino, T. Representation and comparison of uncertain temporal data based on duration. Proceedings of the 2017 Pacific Neighborhood Consortium Annual Conference and Joint Meetings (PNC), 2018, p. 66-71.
- [13] International Organization for Standardization (ISO). ISO/FDIS 8601-2, Date and time - Representations for information interchange - Part 2: Extensions. <https://www.iso.org/standard/70908.html> (参照2018-10-22).