

# オントロジーの認知的に有効な視覚化：空間的図形表現の限界？ Cognitively effective visualization of ontologies: limitation of spatial diagrams?

佐藤 有理<sup>†</sup>, Gem Stapleton<sup>†</sup>, Mateja Jamnik<sup>‡</sup>, Zohreh Shams<sup>‡</sup>, Andrew Blake<sup>†</sup>  
Yuri Sato, Gem Stapleton, Mateja Jamnik, Zohreh Shams, Andrew Blake

<sup>†</sup>ブライトン大学 計算・工学・数学部 <sup>‡</sup>ケンブリッジ大学 計算機研究所  
Visual Modelling Group, School of Computing, Engineering and Mathematics, University of Brighton,  
Computer Laboratory, Faculty of Computer Science and Technology, University of Cambridge  
{y.sato, g.e.stapleton, a.l.blake}@brighton.ac.uk, {mateja.jamnik, zohreh.shams}@cl.cam.ac.uk

## Abstract

Ontologies consist of concept hierarchical-relations, expressed by unary predicates or set-theoretical relation, and concept binary-relations, expressed by linking. In order for non-expert users to access the ontologies efficiently, how could the ontologies be represented? In this study, two kinds of ontology visualizations, a network-based visualization (SOVA) and a set-based visualization (concept diagrams), are empirically compared in the case of consistency checking. We report that more correct responses were made in the condition of SOVA than concept diagrams.

**Keywords** — semantic network, concept diagram, ontologies, consistency, visualization

## 1. はじめに

よい推論や判断を行うためには、それに関連する世界知識を使用できることが重要である。特に、概念間における単項の階層関係だけでなく、二項の動詞関係をも含むような複雑な知識の記述は、オントロジー (ontologies) と呼ばれ、近年大きな注目を集めている [5, 6]。このような複雑な世界知識・オントロジーを人間が効率的に使用するには、どのようにそれらは表現されているとよいのだろうか。概念間における単項の階層関係は、集合論的關係として捉えられる。これを円や点同士の空間的關係として視覚的に表現し (オイラー図と呼ばれる)、さらに二項の動詞関係も表現できるよう拡張するという方法がある。別の方法としては、二項の動詞関係としての概念間の意味的な連携をリンクングとして捉え、グラフ・ネットワーク表現として視覚化し、階層関係もそれと同様に (ツリーではなく) 表現できるよう拡張するという方法がある。前者の視覚表現としてコンセプト図 (Howse et al. [3])、後者としてSOVA (Itzik et al. [4]) に注目し、(オントロジー工学において特に重要な) 無矛盾判定の場面において、どちらが効果的なのかを実験的に検討した。

## 2. 課題分析

Simple Ontology Visualization API (SOVA) [4]<sup>1</sup>は、(意味) ネットワーク型表現の拡張システムとして捉えることができる。意味ネットワークは、ノードとリンクから構成され、典型的には、ノードは概念や個体を表すラベル付きのボックス、リンクは概念や個体間の (二項述語) 関係を表すラベル付きの矢印として記述される [2]。Fig. 1の我々の実験で実際に使用した視覚表現 (対応するOWL表現はTable 1を参照) とともにSOVAのシステムを見てみよう。

白頭の矢印は親子の階層関係 (包含の集合関係) を表すために使用される。(1<sub>2</sub>)において、Watercraftは白頭矢印によってVehicleに連結されている。これは、Watercraftであるならば、それはすべてVehicleであるということの意味する。同様に、VehicleはT (Things) に連結している。これは、Vehicleであるならば、それはすべてこの世界を構成するもの (Things) の一部であるということの意味する。双頭の矢印は、排他の集合関係を表すために使用される。(1<sub>2</sub>)において、VehicleとWatercraftは排他関係にある。つまり、VehicleでもWatercraftでもある個体は存在しないことを意味する。ここまでの情報だけでは、VehicleとWatercraftがそれぞれ空集合である可能性もあるので、必ずしも矛盾とは言えない。しかし、(1<sub>2</sub>)では、四角形aが線でボックスWatercraftに連結しており、これはWatercraftである個体aが存在するというを記述している。このことから、すべてを同時に真とするような状況が存在しないことが分かるので、(1<sub>2</sub>)は矛盾していると判断することができる。

(1<sub>2</sub>)の場合では、矛盾の判定に貢献しないが、二項関係を表す黒頭の矢印についても言及しておく。ボックスV経由の黒頭矢印は、ソースがターゲットだけに関係するということを表す (これは、OWLにおける特性値制約allValuesFromに対応する)。

<sup>1</sup>オントロジエディタProtégé [1]の視覚化プラグインソフトとして実装されている。

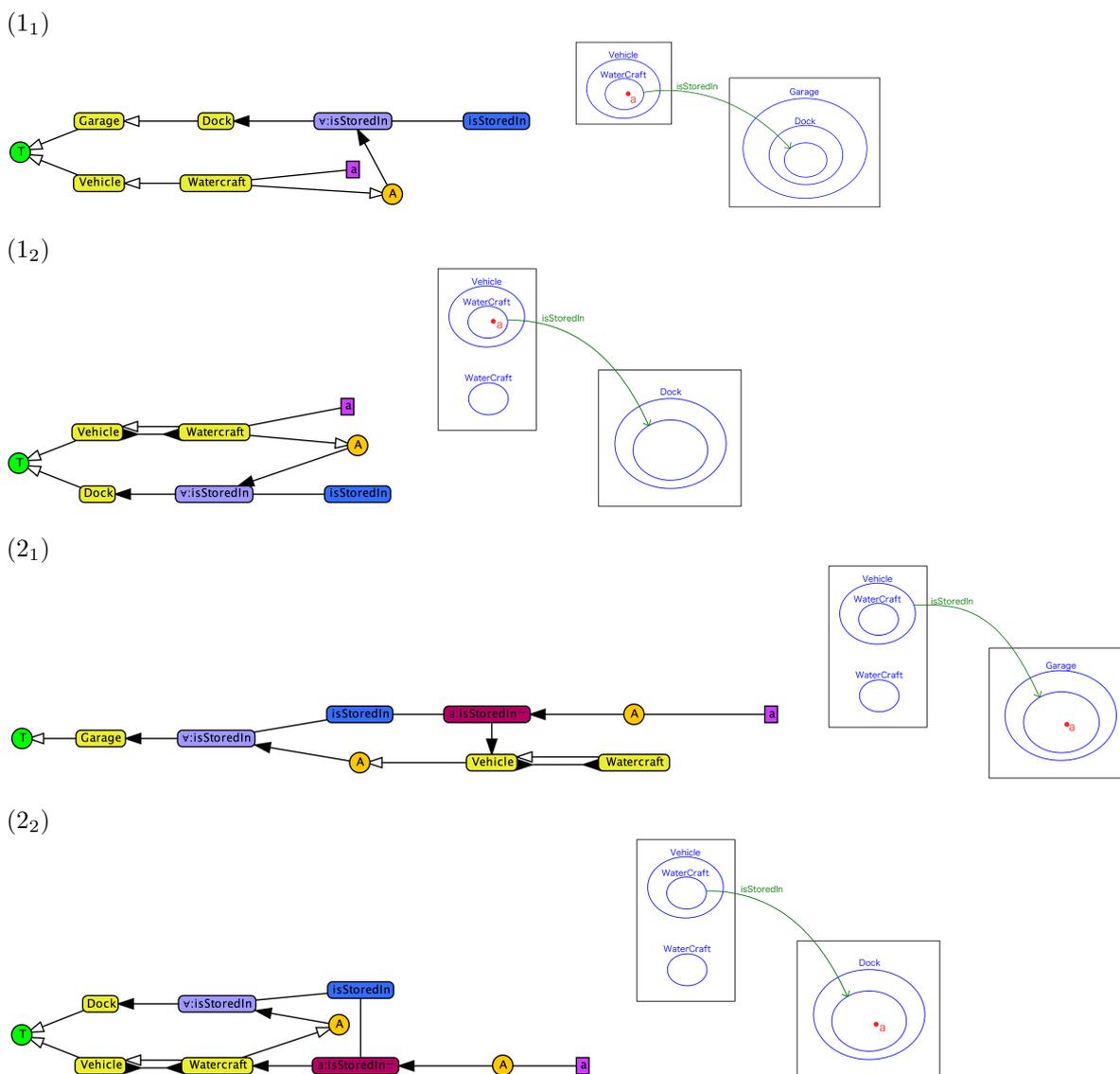


Fig. 1 SOVA ネットワーク (左) とコンセプト図 (右) : (1<sub>1</sub>) と (2<sub>1</sub>) は無矛盾。 (1<sub>2</sub>) と (2<sub>2</sub>) は矛盾。 (1) は二項関係なしで階層関係のみで判定可能。 (2) の判定には二項関係が関わる。

Watercraftが白頭矢印でA (Anonymous set) に連結していて、さらにAは $\forall$ :isStoredIn経由の黒頭矢印でDockに連結している。これは、すべてのWatercraftがDockだけに、isStoredInとして関係するということを意味する。ここで、ネットワーク型視覚表現SOVAにおいては、様々なリンクやノードの意味は人工的で恣意的な仕方で行われていることに注目したい。統語論的オブジェクトとその意味の間の対応に、制約が働いておらず、ユーザは課題遂行中にこの意味「規則」を絶えず意識しておくことが求められる。

一方で、コンセプト図 [3] は、オイラー図と呼ばれる空間的図形表現を拡張したものである。オイラー図では、共通する性質を持った個体の集合が円で描かれ、円 (または点) の間の空間関係が

集合論的關係を表す。(1<sub>2</sub>)では、円Watercraftが円Vehicleに包含されていること、円Watercraftは円Vehicleと排他関係にあること、個体aを表す点aが円Watercraftに包含されていることによりSOVAと同様の情報が表され、矛盾の判定をすることができる。さらに、コンセプト図では二項関係を表す矢印が使用される。円Watercraftから円Dockの内のラベルなしの円につながっており、すべてのWatercraftがDockだけに、isStoredInとして関係することを意味する。ここでは、表現するものと表現されるものとの対応がある程度成り立っており、課題遂行に関する規則の内的処理が外的な表現の物理的制約に分散されるという、いわゆる「分散認知」 [9] の状況が部分的には実現できていると思われる。

Table. 1 実験課題のOWLによる記述

- Q1.Consistency1 [Fig.1(1<sub>1</sub>)]
- SubClassOf (Watercraft ObjectAllValuesFrom (isStoredIn Dock))
  - SubClassOf (WaterCraft Vehicle)
  - ClassAssertion(WaterCraft a)
  - SubClassOf (Dock Garage)
- Q1.Consistency2 [Fig.1(2<sub>1</sub>)]
- SubClassOf (Vehicle ObjectAllValuesFrom (isStoredIn Garage))
  - ClassAssertion (ObjectSomeValuesFrom (ObjectInverseOf (isStoredIn) Vehicle) a)
  - SubClassOf (WaterCraft Vehicle)
  - DisjointClasses (WaterCraft Vehicle)
- Q1.InConsistency1 [Fig.1(1<sub>2</sub>)]
- SubClassOf (Watercraft ObjectAllValuesFrom (isStoredIn Dock))
  - SubClassOf (Watercraft Vehicle)
  - ClassAssertion (WaterCraft a)
  - DisjointClasses (WaterCraft Vehicle)
- Q1.InConsistency2 [Fig.1(2<sub>2</sub>)]
- SubClassOf (WaterCraft ObjectAllValuesFrom (isStoredIn Dock))
  - ClassAssertion (ObjectSomeValuesFrom (ObjectInverseOf (isStoredIn) WaterCraft) a)
  - SubClassOf (WaterCraft Vehicle)
  - DisjointClasses (WaterCraft Vehicle)
- Q2.Consistency1
- ObjectPropertyRange (participatesIn HumanTeam)
  - SubClassOf (Robot AlienTeam)
  - ClassAssertion (Robot a)
  - DisjointClasses (HumanTeam AlienTeam)
- Q2.Consistency2
- ObjectPropertyRange (participatesIn HumanTeam)
  - ClassAssertion (Thing a)
  - SubClassOf(Robot AlienTeam)
  - DisjointClasses (Robot AlienTeam)
- Q2.InConsistency1
- ObjectPropertyRange (participatesIn AlienTeam)
  - SubClassOf (Robot AlienTeam)
  - ClassAssertion (Robot a)
  - DisjointClasses (Robot AlienTeam)
- Q2.InConsistency2
- ObjectPropertyRange (participatesIn Robot)
  - ObjectPropertyRange (participatesIn HumanTeam)
  - ClassAssertion (ObjectSomeValuesFrom (ObjectInverseOf (participatesIn) Thing) a)
  - DisjointClasses (Robot HumanTeam)
- Q3.Consistency1
- DisjointClasses (GodRace SecretTeam)
  - ClassAssertion (ObjectIntersectionOf (Iceman GodRace) a)
  - SubClassOf (GodRace ObjectMaxCardinality(4 joins))
- Q3.Consistency2
- DisjointClasses (GodRace SecretTeam)
  - IntersectionOf (GodRace SecretTeam)
  - SubClassOf (SecretTeam ObjectMaxCardinality(5 joins))
  - ClassAssertion (ObjectSomeValuesFrom (ObjectInverseOf (joins) SecretTeam) a)
- Q3.InConsistency1
- DisjointClasses (GodRace SecretTeam)
  - ClassAssertion (IntersectionOf (GodRace SecretTeam) a)
  - SubClassOf (Iceman ObjectSomeValuesFrom (ObjectInverseOf (costume) GodRace))
- Q3.InConsistency2
- DisjointClasses (GodRace SecretTeam)
  - SubClassOf (ObjectIntersectionOf (GodRace SecretTeam) ObjectMaxCardinality (5 joins))
  - ClassAssertion (ObjectSomeValuesFrom (ObjectInverseOf (joins) ObjectIntersectionOf (GodRace SecretTeam)) a)
- Q4.Consistency1
- SubClassOf (Hall ObjectSomeValuesFrom (ObjectInverseOf (owns) Inhuman))
  - SubClassOf (Hall Base)
  - ClassAssertion(Hall a)
  - DisjointClasses (Base Acid)
- Q4.Consistency2
- SubClassOf (Hall ObjectSomeValuesFrom (InverseOf (owns) Inhuman))
  - ClassAssertion (Inhuman a)
  - SubClassOf (Acid Base)
  - DisjointClasses (Base Acid)
- Q4.InConsistency1
- SubClassOf (Hall ObjectSomeValuesFrom (InverseOf (owns) Inhuman))
  - SubClassOf (Acid Base)
  - ClassAssertion(Acid a)
  - DisjointClasses (Base Acid)
- Q4.InConsistency2
- ObjectPropertyRange (generates Acid)
  - ClassAssertion (Thing a)
  - SubClassOf(Thing SomeValuesFrom (generates Acid)
  - SubClassOf (Acid Base)
  - DisjointClasses (Base Acid)

### 3. 実験

#### 3.1 方法

英国ブライトン大学の学生34名（平均22.53歳）を対象に、ブライトン大学CEMの倫理審査委員会承認のうえ、実験を行った。実験参加者は、コンセプト図群（18名）とSOVA群（14名）に分けられた（2名は教示の理解不足のため分析から除外した）。課題は、8題が無矛盾、8題が矛盾を正解とする合計16題より構成された（半分は階層関係のみが関わる；Fig.1及びTable 1参照）。PC画面にひとつの視覚表現が提示され、それが矛盾した情報を含むかどうか問われた。課題はランダムな順序で提示され、制限時間は設けなかった。

まず、使用される視覚表現の意味についての教示（4ページ）が与えられた。次に、その教示の理解を確認するためのプレテストが行われた。プレテストでは、5つの基礎的な視覚表現が与えられ、特定の集合に個体が必ず存在するかが問われた。プレテストの後には、正答が与えられた。次に、矛盾と無矛盾についての教示（2ページ）が、視覚表現の例とともに与えられた。最後に、解答付きの例題一題と、いくつかの注意事項、正確かつ迅速に答えること、教示文書は実験中参照可能であることが告げられた。詳細は[8]を参照のこと。

#### 3.2 結果

プレテストにおいて5題中2題以上不正解を出した実験参加者のデータは、以降の分析から除外された。コンセプト図群では18名のうち7名が除外され、SOVA群では14名のうち3名が除外された。

Fig. 2に平均正答率（正答数）の結果を示す。予測とは異なり、課題全体において、SOVA群の正答率は80.1%で、コンセプト図群の64.8%よりも有意に高かった( $t(20) = 3.130, p < 0.01$ )。加えて、これも予測とは異なり、階層関係のみが関わる課題において、SOVA群の正答率は83.0%で、コンセプト図群の64.8%よりも有意に高かった( $t(20) = 2.469, p < 0.05$ )。二項動詞も関わる課題においては、SOVA群の正答率77.3%とコンセプト図群の64.8%の間に有意差はなかった( $t(20) = 1.577$ )。

課題遂行に関わる反応時間（正答のみ）は、課題全体について、SOVA群において25.7秒、コンセプト図群において30.4秒で、対数変換後のt検定において両者の間に有意差はなかった( $t(20) = 0.206$ )。階層関係のみの課題についても、SOVA群において22.3秒、コンセプト図群において32.2秒で、両者の間に有意差はなかった( $t(20) = 1.003$ )。二項動詞関係も含む課題についても、SOVA群において

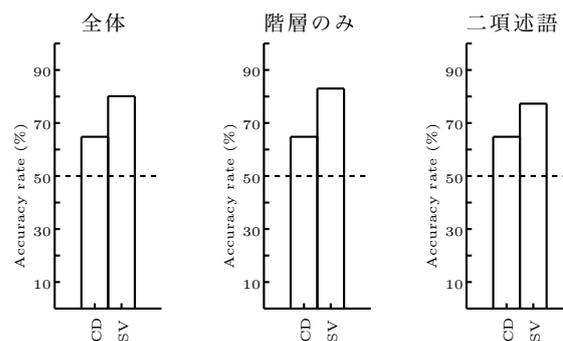


Fig. 2 コンセプト図群(CD)、SOVA群(SV)における全体・階層関係のみ・二項述語も含む無矛盾判定課題の平均正答率（破線はチャンスレベルを表す）

28.3秒、コンセプト図群において27.7秒で、両者の間に有意差はなかった( $t(20) = 0.746$ )。

#### 4. 考察

実験の結果、集合の空間表現ベースのコンセプト図を使用した群よりも、ネットワーク表現ベースのSOVAを使用した群の正答率が有意に高かった。この結果は、少なくとも無矛盾判定の場面においては、ネットワーク表現をベースにした視覚表現が、認知的に効果的であり自然であるということを示している。

コンセプト図の空間的視覚表現は、認知的な内的処理を外的なものに分散化することができるため、コンセプト図の方がSOVAよりも認知的な効率性があると考えていた。そのため、実験結果は我々の当初の予測とは異なるものであった。なぜこのような結果となったのだろうか。ひとつには、無矛盾判定に必要な空集合の理解がこの結果に関わっている可能性がある。コンセプト図（オイラー図）では各領域（集合）に個体の存在を指定するという傾向が強く、SOVAではそのような傾向が少なかったと考えることができる。あるいは、無矛盾判定では原理的にすべての情報を確認する必要があるため、今回の課題では、単項の階層関係と二項の動詞関係の両方を含む複雑な知識であることが直接的に影響した可能性がある。このような複雑な情報における判断では、コンセプト図（オイラー図）の認識における部分的な分散認知よりも、SOVAにおけるように、すべての情報が統一的な形で取り扱い可能であることのほうが認知的にかかる負担が少ないのかもしれない。この点を考慮すると、空間的な図形表現に、記号的なデバイス（例えば、コンセプト図における矢印）を加えてシステムを拡張していくという、情報視覚化のアプローチには認知的な限界があることが議論できるかもしれない。

## 謝辞

本研究はLeverhulme Trust (RPG-2016-082, Accessible Reasoning with Diagrams) の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Gennari, J. H., Musen, M. A., Fergerson, R. W., Grosso, W. E., Crubézy, M., Eriksson, H., Noy, N. F., & Tu, S. W. (2003). The evolution of Protégé: an environment for knowledge-based systems development. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58, 89-123.
- [2] Hartley, R. T., & Barnden, J. A. (1997). Semantic networks: visualizations of knowledge. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 169-175.
- [3] Howse, J., Stapleton, G., Taylor, K., & Chapman, P. (2011). Visualizing ontologies: A case study. In *Proceedings of 10th International Semantic Web Conference, LNCS 7031* (pp. 257-272). Heidelberg: Springer.
- [4] Itzik, N., & Reinhartz-Berger, I. (2014). SOVA - A tool for semantic and ontological variability analysis. In *Proceedings of the CAiSE'2014 Forum at the 26th International Conference on Advanced Information Systems Engineering, CEUR vol 1164* (pp. 177-184).
- [5] 溝口理一郎. (2005). オントロジー工学. オーム社
- [6] 岡田光弘. (2002). オントロジー応用のための方法論の考察と展望. *人工知能学会誌*, 17(5), 604-613.
- [7] Sato, Y., & Mineshima, K. (2015). How diagrams can support syllogistic reasoning: an experimental study. *Journal of Logic, Language, and Information*, 24, 409-455.
- [8] Sato, Y., Stapleton, G., Jamnik, M., Shams, Z., & Blake, A. (2017). How network-based and set-based visualizations aid consistency checking in ontologies. Accepted for publication in *Proceedings of 10th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction*, (5 pages). ACM.
- [9] Zhang, J., & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18, 87-122.