



## ⑤ コンテキストウェアアプリケーション —ポスト PC 時代の共通問題—

鵜林尚靖 (九州大学大学院システム情報科学研究院)

### ポスト PC 時代のアプリケーション

情報処理技術を取り巻く環境が大きく変化しつつある。PC の時代からスマートフォンやタブレットの時代に確実に移行しようとしている。ポスト PC の時代にどのようなコンピュータが主流になるのかは現時点ではまだ明確ではない。しかし、スマートフォンやタブレットがその中で重要な役割を演ずるのはほぼ間違いない。コンピュータが誕生してから数十年の歳月が経ち、メインフレーム、サーバ、PC とその主役は変化してきた。メインフレームは企業の基幹システムに、PC は文書作成や表計算などのオフィス業務に使われてきた。スマートフォンやタブレットはコミュニケーションとコンテンツの流通という側面で新たなコンピュータの可能性を切り拓く可能性が高い。

このような時代のアプリケーションの典型がコンテキストウェア (Context-Aware) アプリケーションである。現在位置、天気、時刻などのコンテキストと要求 (「おいしいものが食べたい」「最終電車の時刻が知りたい」など) からそのときの利用者合った情報を提供するのには現在最も利用価値の高いサービスの 1 つと言える。コンテキストウェア (Context Awareness) に関連するものとして、自己適応技術一般を指し示す self-\* (self-adaptive, self-managing, self-healing, self-configuring など)、ユビキタスコンピューティング (Ubiquitous Computing)、パーベイシブコンピューティング (Pervasive Computing)、ダイナミックソフトウェアプロダクトライン (Dynamic Software Product Lines) などがある。本稿では、これらを厳密には

区別せずにコンテキストウェアアプリケーションのための要素技術として扱う。

### 活発な研究活動

現在、ソフトウェア工学やプログラミング言語のコミュニティではコンテキストウェアネスに関する研究が活発である。ソフトウェア工学では SEAMS (International Symposium on Software Engineering for Adaptive and self-Managing Systems)<sup>5)</sup> が ICSE (International Conference on Software Engineering, ソフトウェア工学に関する旗艦国際会議) の併設シンポジウムとして 2006 年より毎回開催されている。一方、プログラミングの分野ではコンテキスト指向プログラミング (COP: Context-Oriented Programming)<sup>2)</sup> の概念が提唱されている。こちらも COP ワークショップが ECOOP (European Conference on Object-Oriented Programming) の併設イベントとして 2009 年より毎年開催されている。その他、さまざまな国際会議でコンテキストウェアアプリケーションを開発するための分析・設計手法、プログラミング言語、テスト・デバッグ技術、プロダクトライン技術などが提案されている。

コミュニティ全体として研究を発展させるには、重要な研究チャレンジが織り込まれた共通問題を設定することが重要である。これが本特集の目的であるが、本稿ではコンテキストウェアアプリケーションのための共通問題をいくつか紹介する。

**名前:** 美術館ナビゲータ

**概要:** 美術館内における見学位置や展示作品に応じて自動的にナビゲーションする内容を変更するシステム。利用者の行動履歴や興味に応じて提供する内容やユーザインタフェースは自動的に変化する。

**問題の背景:** クラウドコンピューティングやセンサネットワーク技術と組み合わせ、利用者のコンテキスト（場所、利用履歴、嗜好など）に応じて柔軟にシステム構成や振舞いを変えていくシステムの開発は今後ますます重要となる。

**チャレンジ:** コンテキストに適応して振舞いや構成を変えるアプリケーションの開発手法を提供する。

図-1 共通問題：美術館ナビゲータ

### 素朴な共通問題

最初に紹介するのは「美術館ナビゲータ」である。これは筆者自身が作成した共通問題である。筆者は美術館を巡るのが好きである。だから、コンテキストウェアアプリケーションの例題として真っ先に思いつくのがこの問題（図-1）である。

この共通問題は美術館に限らずさまざまなナビゲーションに適用可能であり汎用性は高い。しかし、この問題が本当にコンテキストウェアアプリケーションを代表していると言えるのか、ほかのタイプの問題は存在しないのか、等の疑問が残る。共通問題について体系的に考えるためには歴史に学ぶのが一番である。それでは、コンテキストウェアネスに関する過去の研究を振り返りつつ、この「美術館ナビゲータ」が共通問題としてどう位置づけされるのか探していこう。

### 温故知新—歴史を遡る—

コンテキストウェアネスに関する研究は実は古くから存在する。現在のコンテキストウェアアプリケーションは今までの研究成果が真のモバイル機器であるスマートフォンやタブレットにより現実化したものと捉えることができる。コンテキストウェアネスに関する研究の源流をどこに求めるかについてはさまざまな意見があるかと思うが、1991年に Mark Weiser により提唱された「ユビキタスコンピューティング」はその1つと言ってもよい<sup>☆1</sup>。

1990年代から2000年代初期は広義のコンテキストウェアネスについて活発な研究が行われた時期であった。特にヒューマンインタフェースやエージェントの分野で研究が行われている。たとえば、ユビキタスコンピューティングの初期の研究として Active Badge（バッジをつけた人がどこにいるかが分かるシステム）が有名であるが、現在ではスマートフォンがその役割を担っていると言える。ソフトウェア工学の分野でも、ICSE'98で OreizyNenad, P., Medvidovic, N., Taylor, R. N. らがアーキテクチャベースの実行時ソフトウェア発展（Runtime Software Evolution）に関する論文発表を行っている<sup>3)</sup>。この論文は2008年のICSE Most Influential Paper Awardを受賞している<sup>☆2</sup>。

コンテキストウェアネスに関する論文で数多く使用されている共通問題が「モバイルツアーガイド」<sup>1)</sup>である。Wang, Z. らがICSE 2007で発表した論文（コンテキストウェアテストの自動生成に関する提案）<sup>6)</sup>でも使用されている。「モバイルツアーガイド」は利用者のいる場所を観測し、利用者と場所の両方に関係する情報を提示するシステムである。筆者の「美術館ナビゲータ」はこの「モバイルツアーガイド」の一事例に過ぎないことが分かる。残念ながら共通問題としてはすでに存在するということになる。歴史を振り返ることは重要である。「モバイルツアーガイド」のほかに共通例題の候補はないのであろうか？もう少し、過去の研究事例を見ていくことにしよう。コンテキストウェアアプリケーション開発のための代表的なフレームワークとして Context Toolkit<sup>4)</sup>がある。このフレームワークを用いた例題がいくつか提供されており共通問題の候補と見なすことができる。Context ToolkitはコンテキストウェアアプリケーションをGUI（Graphical User Interface）ベースで開発するためのツールキットで、そのためのウィジェット（部品）が用意され

<sup>☆1</sup> Mark Weiser というと「プログラムスライシング」を思い浮かべる人が多いかもしれない。同一人物である。

<sup>☆2</sup> ICSEでは論文発表後10年の間に最も学術的な影響を与えた論文を表彰している。最近ではICSE以外の国際会議でも同様の取り組みが見られる。

ている。たとえば、*IdentityPresence*（人の存在やその識別情報を感知するためのウィジェット）や *Activity*（行動の変化を監視するためのウィジェット）などが用意されている。「モバイルツアーガイド」も Context Toolkit を用いて実装されている。さらに、CHI'99 で発表された論文では「行き先掲示板 (In/Out Board)」「インフォメーションディスプレイ」「DUMMBO (Dynamic Ubiquitous Mobile Meeting Board)」の3つの例題が提示されている<sup>4)</sup>。「行き先掲示板」はオフィスのどのメンバが在席し、どのメンバが不在かを表示する電子ボードである。このシステムを開発するには、メンバとその識別情報、オフィス到着時刻と退出時刻、などのコンテキスト情報を扱う必要がある。これらは Context Toolkit が提供するウィジェットにより取り扱うことができる。「インフォメーションディスプレイ」は誰かが近づいてきたら、その人自身やその人が所属するグループが関心を持ちそうな情報を表示する。「インフォメーションディスプレイ」は「モバイルツアーガイド」（そして「美術館ナビゲータ」）が提供する機能を別の形態で簡易的に実現するシステムとも言える。DUMMBO はジョージア工科大学のプロジェクトで、インフォーマルなミーティングを支援するためのホワイトボードである。2人以上のメンバがホワイトボードの周辺に集まるとそれを感知して、そこで交わされた情報を記録しミーティングを支援していくシステムである。ここでも、人とその識別情報の認識が鍵となる。

### 共通問題リポジトリの誕生

これまでコンテキストウェアネスに関する研究においてどのような共通問題が使用されてきたかについて述べてきた。ここで紹介したものは、数多ある研究事例のごく一部である。また、コンテキストウェアネスに関する研究の多くがユビキタスコンピューティングに関連していたこともあり、その多くは場所や人などのコンテキスト情報を対象としたものであった。しかし、コンテキストウェアネス

名前：Znn.com

概要：ニュースサイトを提供する Web サーバシステム。cnn.com などの実際のシステムと同様、顧客に対してマルチメディアのニュースコンテンツを配信する。Znn.com はサーバプール内でロードバランシングを行う。プールのサイズはサーバ応答時間に応じて動的かつ自動的に調整される。

問題の背景：スラッシュドット効果 (Slashdot Effect)。あるサイトがスラッシュドット (コンピュータ関係のニュースの要約を提供するサイト) など多数のユーザを持つサイトからリンクを張られ紹介されることで、サイトの負荷が急激に増大する現象。このような状況は回避する必要がある。

チャレンジ：性能とセキュリティなど対立する可能性がある品質要求について考慮する必要がある。

図-2 共通問題：Znn.com

が適用できる分野は分散環境下での負荷分散やネットワーク経路制御などそのほかにも数多くある。共通問題という立場からすると、研究対象をできるだけ網羅できるようにしたいと考えるのはごく自然なことである。

一般的に研究コミュニティが成熟してくると、その研究分野の知識を体系化していこうとする動きが出てくる。特に最重要課題の典型例をグランドチャレンジという形で提供する場合が多い。先に紹介した SEAMS<sup>5)</sup> のコミュニティでも共通問題を対象としたリポジトリ (情報の貯蔵庫) の構築に取り組み始めている。ちなみに SEMAS では、共通問題のことをモデル問題 (Model Problems) と呼んでいる。本稿執筆時点では、公開されている共通問題はまだまだ少ないが今後整備されていくことと思われる。SEAMS の共通問題は、a) 名前、b) 概要、c) 問題の背景、d) チャレンジ、から構成される (実は「美術館ナビゲータ」の構成もこれに準拠している)。オプションとして、サンプルソリューション、さまざまなアプローチ同士の比較、当該共通問題の改訂履歴、などの情報が付加される場合がある。図-2 および図-3 は現在公開されている共通問題「Znn.com」と「自動交通経路制御問題 (ATRP: Automated Traffic Routing Problem)」の概略である。詳細な問題記述については SEAMS の Web サイトを参照されたい。

表-1 は本稿で紹介した共通問題をまとめたもの

共通問題	区分	コンテキスト情報	出典
1. モバイルツアーガイド (美術館ナビゲータ)	ユビキタスコンピューティング	場所, 人, 関心事	文献 1)
2. 行き先掲示板	ユビキタスコンピューティング	場所, 人, 時刻	Context Toolkit
3. インフォメーション ディスプレイ	ユビキタスコンピューティング	場所, 人, 関心事	Context Toolkit
4. DUMMBO	ユビキタスコンピューティング	場所, 人, 行動	Context Toolkit
5. Znn.com	負荷分散, Web サーバシステム	リクエスト数, 応答時間	SEAMS
6. 自動交通経路制御問題	経路制御, エージェント	場所, 通行量, 渋滞	SEAMS

表-1 コンテキストウェアアプリケーションの共通問題

**名前:** 自動交通経路制御問題

**概要:** 自動車の経路制御問題。自動車は出発地から地図にしたがって道路を走行し目的地に到達する。道路には速度制限があり、通行量や渋滞状況により最高速度が低下する。事故などが要因でさらなる速度低下を余儀なくされる場合もある。自動車、道路、交差点は各々の局所的な観測情報に基づいて経路制御の戦略決定を行うエージェントである。観測にはノイズ等の不確かさが含まれる可能性がある。

**問題の背景:** 自己適応技術の応用問題として適している。理由は、1) 多数のエージェントがかかっている、2) 各エージェントは部分的な情報にしかアクセスできない、3) 各エージェントのビューは不確かである可能性がある、の三点。**チャレンジ:** スケーラビリティ (Scalability), 頑強性 (Robustness), 監視 (Monitoring), 反応 (React), 副作用の回避などについて考慮する必要がある。

図-3 共通問題: 自動交通経路制御問題

である。これらの共通問題の活用方法はさまざまである。ソフトウェア工学の観点で考えると、新しい要求獲得手法、設計手法、テスト技術の有効性を評価するための例題として使用可能である。コンテキスト指向プログラミングなど新たなプログラミングパラダイムの適用実験にも活用可能である。その一方で、現状の共通問題に残された課題も少なくない。課題の1つはコンテキスト自体の定義が曖昧なことである。研究者によっても考え方が異なる場合がある。コンテキストウェアアプリケーションの性格上仕方ない面もあるが、共通の定義が欲しいとこ

ろである。もう1つの課題は問題のサイズが大きくなり、具体的な仕様が明確に規定されていない点である。共通問題利用時の自由度が高いという長所とも捉え得るが、共通問題を手法の比較評価に使用する際に問題が生じる。いずれも今後解決していかなければならない課題である。

**参考文献**

- 1) Abowd, G. D., Atkeson, C. G., Hong, J., Long, S., Kooper, R. and Pinkerton, M. : Cyberguide : A Mobile Context-Aware Tour Guide, ACM Wireless Networks 3, pp.421-433 (1997).
- 2) Hirschfeld, R., Costanza, P. and Nierstrasz, O. : Context-Oriented Programming, Journal of Object Technology (JOT), Vol.7, No.3, pp.125-151 (2008).
- 3) OreizyNenad, P., Medvidovic, N. and Taylor, R. N. : Architecture-Based Runtime Software Evolution, 20th International Conference on Software Engineering (ICSE'98), pp.177-186 (1998).
- 4) Salber, D., Dey, A. K. and Abowd, G. D. : The Context Toolkit : Aiding the Development of Context-Enabled Applications, ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99), pp.434-441 (1999).
- 5) Software Engineering for Self-Adaptive Systems, <http://www.self-adaptive.org>
- 6) Wang, Z., Elbaum, S., and Rosenblum, D. S. : Automated Generation of Context-Aware Tests, 29th International Conference on Software Engineering (ICSE 2007), pp.406-415 (2007).

(2013年5月29日受付)

鵜林尚靖 (正会員) ubayashi@acm.org

1982年広島大学理学部数学科卒業。1999年東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了。博士(学術)。(株)東芝、九州工業大学を経て、2010年より九州大学教授。