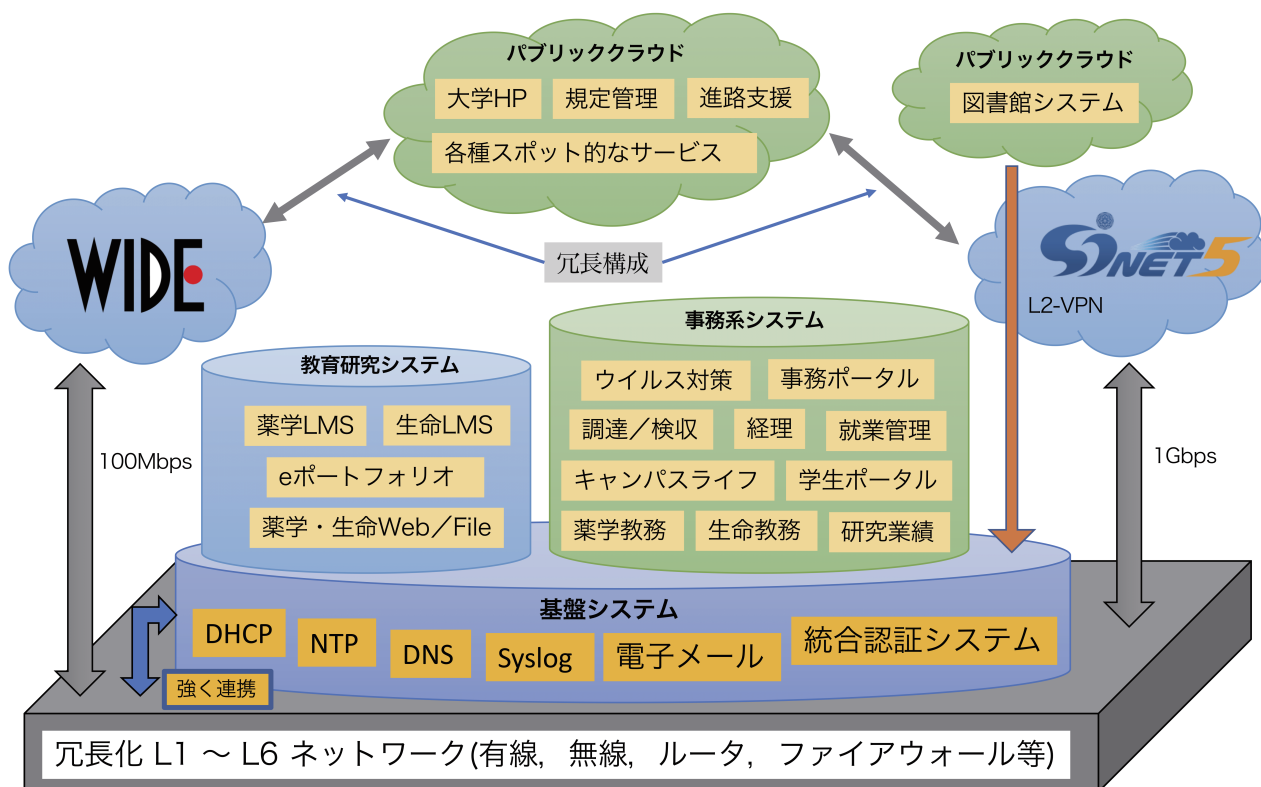


TYCOON における適切なクラウドの活用と仮想化基盤計画

森河良太¹、倉田香織²、宮川毅^{1,2}、土橋朗²

1. TYCOON における ICT 基盤システム

東京薬科大学情報ネットワーク TYCOON (ToYaku COmputer Open Network) は 1995 年 10 月に誕生し、本学の教育・研究に資する様々な ICT サービスを提供するインフラストラクチャー、すなわち ICT 基盤としての役割を果たしてきた。誕生後 23 年余りが経過し、TYCOON には ICT サービスを提供するサーバが多数接続されるようになり、本学の業務を支えている(図 1)。また TYCOON は冗長化した 2 本の専用回線(帯域幅は 1 Gbps と 100 Mbps)を持ち、インターネットとの接続を維持している。



(図 1) TYCOON における主な ICT システムの分類と配置図 (2018 年 12 月現在)。

ところでこの 10 年余りの間に、世間では「クラウド」と呼ばれる ICT サービスが流行るようになってきた。クラウドは英語で cloud であり、インターネットに浮かぶ雲をイメージしているようである。雲のように中身はよく見えないが、何やらとても便利なものを気楽に提供してくれるようである。それはお金を払って使わせて頂く場合もあるが、(少なくとも最初の入り口では) 無料であることが多い。そして確かに便利であり、多くの人々を魅了する。ただし『注文の多い

¹生命科学部コンピュータ委員会 ²情報教育研究センター

料理店』よろしく、後から次々と代償を要求されることもある。いや、知らぬ間に盗まれているかもしれない。さて何を盗られたのであろうか？

本稿では、この「魅力的な」クラウドといかに付き合うべきかを、少し立ち止まって考えてみたい。また（図1）の基盤システムと教育研究システム（青い円筒部分）を一つに統合する計画（TYCOON 仮想化基盤構想）は、システムの堅牢化と管理運用コストの削減を目指すものであると共に、やがて到来するであろうクラウドの本格的な利用に備えての構想（ポリシー）であることを説明する。

2. 再考：クラウドとは？

2-1. 変化するクラウドの定義

インターネットを通じてスマホやパソコンに提供される便利なサービスをクラウドサービス（クラウドコンピューティングサービス）と呼ぶが、多くの人々に普及しているせいか、クラウドと更に略して呼ばれることの方が多い。この言葉自体は2006年頃から使われ始めたと言われているが、その実態はインターネットに接続された多数のサーバコンピュータを、同質のサービスに見せかせているだけである。つまりクラウドとは新しい技術ではなく、単にインターネット上で商売を行うためのバズワードであった。しかしその言葉は多くの人々から命を得て、世界中を駆け巡ることになった。「クラウド対応」とか「クラウドメール」といった言葉は、冷静に考えれば冗長の過ぎる言葉である（「インターネット対応」や「電子メール」で十分である）が、そこにユーザーが何らかの意味や付加価値を見出し、そのように呼んでいるのであろう。そうすると「クラウド」という言葉はますます元気になり、企業等のイントラネットに構築されたサーバによるサービスを「クラウド」と呼ぶために、プライベートクラウドという言葉が誕生した。さらにGoogleやAmazonのようなインターネット上で活用するコンシューマー向けのクラウド（本来の意味でのクラウド）をパブリッククラウドと、区別して呼ぶようになった。

一方、サービスの提供方法によってもクラウドは分類されている。電子メールやSNSといったサービスを直接ユーザーに提供するSaaS(Software as a Service)、データセンターに設置されたサーバ機器や仮想マシン（後述）をユーザーが丸ごと使ってサービスを構築する環境を提供するIaaS(Infrastructure as a Service)、またSaaSとIaaSの中間的存在で、予め用意されたアプリケーションやデータベースを使ってユーザーがサービスを構築できるPaaS(Platform as a Service)などがある。これらSaaS、PaaS、IaaS等をまとめてXaaS（ザース）と呼ぶが、これには`Anything as a Service`と`Everything as a Service`の2種類の意味があり、「クラウド」という言葉の意味が「雲」であるのと同様、バズワードの薫り高い言葉であるように感じる。

2-2. ブロードバンド通信の普及と CDN

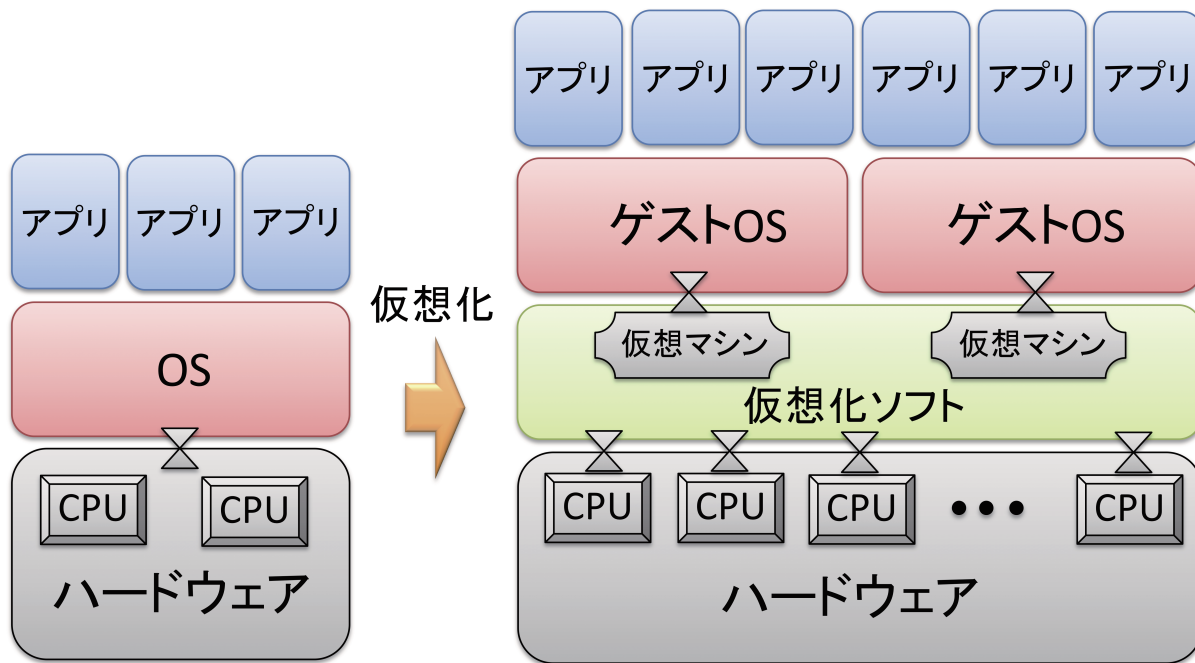
それではなぜ、「雲」のように怪しいクラウドというサービスがこれだけ普及したのか、それは 20 世紀末に始まった大容量通信可能なインターネット接続（**ブロードバンドインターネット接続**）サービスの登場に依存する部分が多い。それまではモデムや TA（ターミナルアダプタ）を使って公衆電話回線（～56 kbps）や ISDN 回線（64/128 kbps）を通じて、一般家庭からインターネットを利用してはいたが、不満のないアクセス感覚を得られるサービスは電子メールや電子ニュース等、文字の送受信を主としたサービスに限られていた。しかしその後、ADSL（1.5 Mbps～）やケーブルモデム（～30 Mbps）、FTTH（100 Mbps～10 Gbps）の普及により、一般家庭でも大容量の画像や音声、動画を高速にやり取りすることができるようになった。また動画ファイルのような大容量データを端末（パソコン）のハードディスクや DVD にダウンロードし、それを確保（保存）した形式で利用することは、ブロードバンドを利用しても時間がかかる。そこでデータをサーバ側からダウンロードしつつ利用（再生）する**ストリーミング**と呼ばれるデータ配信技術も登場し、急速に普及していった。

一方、インターネットのコンテンツをより高速に配信する ICT 技術は前述のブロードバンドとストリーミング技術だけでなく、**コンテンツデリバリネットワーク（CDN）**と呼ばれる技術が、人知れずインターネットの主要ノードに投入され、それらが連携していることを忘れてはならない。CDN は通信データの「中継」と「キャッシュ」を行いつつ、なるべく少ないホップ数でデータを届けられるように送信経路の「選択」を行う。その結果、インターネット上のウェブコンテンツを効率良く配信することができるようになるが、その技術の基礎は**プロキシサーバ**である。ただ従来のプロキシサーバと CDN の大きな違いは、前者が主に組織内ネットワーク（LAN）における通信負荷の軽減を担っていたのに対し、後者はインターネット全域を対象に通信負荷の軽減を行なっているという点である。

それではインターネットという、いわば国や組織の支配を受けないはずの地球規模のネットワークの主要各所に、誰が CDN を設置しているのだろうか。それらは MIT の応用数学教授であるトム・レイトンが 1998 年に設立した**アカマイ社（Akamai Technologies, Inc.）**によって設置されているのである[1]。勿論、Akamai 以外にも Amazon CloudFront や Cloudflare のように CDN を構築、提供している企業もあり、またロシアのように Akamai のサーバの設置を許可していない国も多く存在する。しかし世界 130 カ国以上に 24 万台以上のサーバを設置し、ウェブトラフィックの 10～30% をそれらから配信している Akamai は[1]、インターネットにおける CDN 提供者および技術者としての地位をほぼ独占的に確立している。だからこそ Akamai は、押さえ込んだ情報伝達経路の中で、セキュリティを確保する企業として名乗りを挙げてくるのである。

2-3. 仮想化技術

クラウドの普及を推進したもう一つの原動力は、仮想化技術の普及である。仮想化とは、1つまたは複数の筐体をもつサーバ機器（物理的なサーバ）を何台もの論理的な仮想マシンに分割する技術のことである（図 2）。仮想化技術自体は、1972年にIBMがメインフレーム用に開発したものが最初であるが、クラウドで利用できるようなハイパーバイザー型の仮想化（仮想化のための専用OSを用いる方法）は、2002年にVMware社によって製品化され、その後急激に普及していった。近年は28コアのCPUを4つ搭載（計112コア）するようなPCサーバも流通しており、サーバ1台当たりのコア数は年々増加傾向にある。このようなコア数の多いサーバ機器を仮想化して、クラウドにおいて多数の仮想マシンを運用することで、システム構築費用および関連する保守経費を削減することができる。このコストの削減は、サーバシステムのスケールが大きければ大きいほど効果的である。



（図 2）仮想化の概念図。OS はハードウェアの特性を熟知しており、アプリケーションからの通信をハードウェアに伝える役割を持つ（左図）。仮想化ソフトはゲスト OS とハードウェアを繋ぐ境界部分に導入され、ハードウェアのリソースを仮想マシンの形で複数のゲスト OS に提供する（右図）。

よって Google や Amazon などの企業が展開するパブリッククラウドでは、仮想化技術を駆使して安価にサービスを提供していると言える。それは単一のサービスを一般消費者（コンシューマ）向けに提供する SaaS だけでなく、AWS（アマゾンウェブサービス）のように、管理ツールを付加価値として加えた仮想マシンを従量制課金で提供する IaaS も同様である。

2-4. Web 2.0 の発展的解消

クラウドを支える第3の要素は、**双方向の情報通信**を応用したコンテンツ技術そのものである。コンテンツをサーバから一方的にクライアントに提供する旧来のWebシステム（いわゆるホームページ、Web 1.0）に対し、それらの双方向通信を可能にしてクライアントをより強力にWebページへと集客するシステムは、俗に**Web 2.0**と呼ばれた[2]。Web 2.0という言葉は2005年頃に登場したが、今日では検索エンジン、SNS、ウィキ、電子掲示板、ブログなど、クラウドで提供されている様々なサービスがWeb 2.0の技術で動いていると言っても過言ではない。それらのサービスは、この15年間、技術の進歩というよりはサービスの提供手法の改善と効率化、試行と淘汰を繰り返すことで拡大発展して来たと言える。そして新しい技術が登場すれば、それらを貪欲に吸収して、集客のツールとして利用している。

Web 2.0というバズワード自体は既に死語となっているが、その考え方は自明の理として、今もクラウドサービスを支えていると言える。

3. 個人情報の不正利用と情報理論のエントロピー

3-1. クラウドおよびCDNにおける個人情報の行方

前章において、クラウドとそれを支える技術について述べたが、それらを振り返ると、「**ブロードバンド**（CDNを含む）」、「**仮想化**」、「**双方向通信**（Web 2.0）」の3つのキーワードが浮かび上がる。これらは皆、ユーザーにとってクラウドを魅力あるものにするための条件を生み出すツールであると考えられる。すなわち、

- **ブロードバンド** → 大容量のデータを瞬時に利用者へ届ける。
- **仮想化** → 大量の利用者に、サービスを安く提供する。
- **双方向通信** → 利用者の要望に応える。

ということである。これらの要件は、18世紀に起こった産業革命以来、人類が追い求めてきたものであり、同時に決して飽くことのない欲望でもある。しかも利用者へ提供するサービスの主体は、製品などの物質ではなく、情報そのものである。知識や音楽、画像、映像、そしてゲームは、TCP/IPというプロトコルに従って与えられるビット列でしかないのである。しかし我々文明人は、それらを食料や資源のように渴望し、取り込もうとしている。「情報は21世紀の石油」と言われる所以である。

実際、インターネットの闇市場サイトでは「Googleの個人情報、2.7円/人」などと、**個人情報の売買**が半ば公然と行われている。また収集した情報を何らかの形で第三者に提供することを、プライバシーポリシーの膨大文書の片隅で小さく宣言し、「お客様のため」と称して、最終的には経営のために役立てるパブリ

ッククラウドも少なくはない（例えば Google のプライバシーポリシーを見よ）。一方政府組織においても、2013年に元・米国 NSA（国家安全保証局）局員の E. スノーデン氏が告発したように、米国 NSA は大手クラウドサービスを通じてユーザーの電子メールや文書、写真、利用記録など、多岐に渡る個人情報の収集を続けている（PRISM 計画）[3]。

それだけでなく、本来は Web のコンテンツデータを効率良くインターネットに流すための仕組み（CDN）を提供している Akamai だが、最近では CDN を使って通信データのフィルタリングを行うサービスを提供するようになった。つまり公共の場と思われてきたインターネットに「関所」が登場したのだ。勿論、それは大手クラウドサービスに対する不正アクセスを防ぐことを目的としたサービスであるが、「インターネットの裏の支配者」と呼ばれる Akamai が自社の利益のために暴走を始めれば、インターネットは少数の企業に支配され、自由もプライバシーも無い、地球規模の LAN となる可能性もある。

このようにインターネットに流れる全ての情報は、たとえ暗号化されていようと、また接続先が信頼できるクラウドであろうと、少なくとも CDN によって（あるいは進化した PRISM によって）取得（キャッシュ）され、解読される可能性が残るのである。そして個人情報が石油と同様に 21 世紀の価値ある資源とみなされるのであれば、その争奪への欲望を止めることは、より困難となるであろう。

3-2. 情報はエネルギー資源なのか？

それでは世の評論家が指摘するように、情報は本当に石油のような「エネルギー資源」と等価なのであるか。エネルギー資源であれば、物理学における「熱力学第一法則」を持ち出すまでもなく、それは使用されることによって、最終的には枯渇するのである。しかし「情報が枯渇する」という表現はあまり聞かない。なぜなら、ある事象がどの程度の情報（価値）を持つかは、エネルギー資源に例えれば、その体積や質量などの「量」の問題ではなく、質の問題なのである。

例えばあるクラウド会社が提供するオンラインストレージに、個人情報を記述した文書ファイルを預けたとしよう。そのファイルの内容がクラウド会社によって不正に取得され、第三者に売却されたとする（これを**個人情報の不正利用**または**情報漏洩**という）。その場合、ファイルとその内容が消失することはないが、ファイルの内容は第三者に知られてしまい、さらに拡散してしまう可能性も増大する。すなわちファイルの持つ**機密性**（推定のしにくさ）に基づく価値は減少するのである。シャノン¹は事象に対する推定のしにくさを表す量を**情報理論のエントロピー**（平均情報量ともいう）と呼び、ある事象 i が起こる確率が P_i であるとき、その全ての事象におけるエントロピーを $H(P) = -\sum P_i \log P_i$ と定義した。つまり情報漏洩とは、自分が所有している（と思っている）情報が流れ出て消えてしまうことではなく、その価値（平均情報量）が下がることなのである。

情報の価値が下がることを、喫茶店を例に熱力学的に説明しよう。コーヒーとミルクを混ぜると簡単にカフェ・オ・レが出来上がるが、カフェ・オ・レをコーヒーとミルクに分離することは至難の技である。このことは、前者は後者よりも**熱力学的エントロピー**が低いために生じる現象であり、「熱力学第二法則」によって説明できる。よって喫茶店でコーヒーを注文すると、より価値の高い（熱力学的エントロピーの低い）、コーヒーとミルクを分離した状態で提供される。それら2種類の液体をどのように混ぜるかは客が選択することであり、それもサービスの一環なのである。

しかし忙しい毎日を送る人は、「私は美味しいカフェ・オ・レを、手間をかけずに早く飲みたい！」と要望する可能性は十分ありえる。またカリスマ店員が提供するコーヒーとミルクのブレンドを楽しみたいという人もいるだろう。特に後者については、熱力学的エントロピーを指標とした価値観に対して、情報理論のエントロピーが上位の価値観として強く作用している状況がうかがえる。だからカフェ・オ・レというメニューが存在するのであろう。

さて本題であるクラウドの話に戻ると次のことが言えるのではないか。すなわち多くのクラウドサービスは、前節で示した3つの要素を使って、それぞれ独自のカフェ・オ・レというメニューを提示し、小説『1984年』のディストピアの描くフレームワークを構築し合っているのだと。

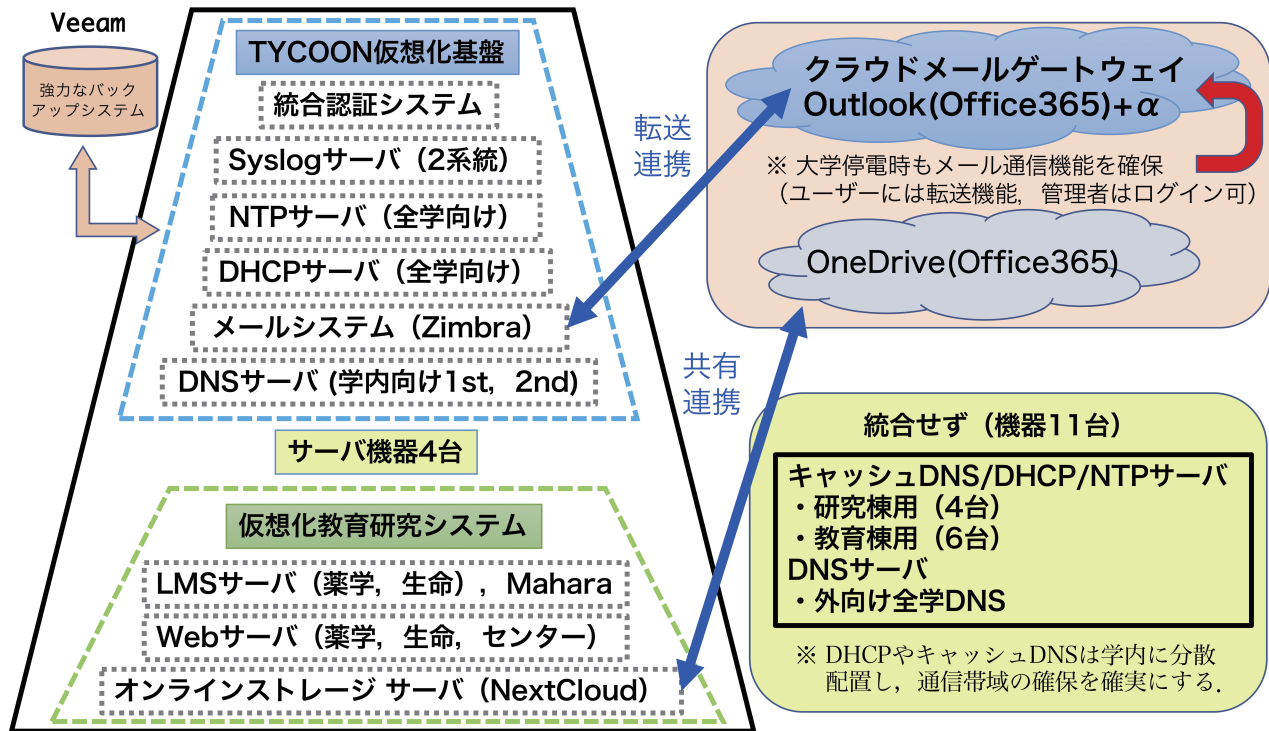
4. ハイブリッドクラウドと TYCOON 仮想化基盤

以上の議論から、クラウドの魅力の根元にあるものが見えてくるのではないか。昨今はその魅力に惹かれて、組織の ICT 基盤をそのままクラウドに置き換えてしまおうと、安直に志向している企業や大学が多いと思われる。それが実行に移されれば、その代償を組織自身の持つ情報とその価値（例えば組織内に存在する伝統的ノウハウ）で支払っていくことになるだろう。そして最後には、クラウドに寄生して生きていく従属的な組織に成り下がってしまうのではないか。

しかし大学は教育機関であり、学問を通してコーヒーとミルクの配分や混ぜ方を学び、自分の頭で考え、それを主体的に実践する場である。美味しいカフェ・オ・レの店をネット検索して探す方法を教授する場ではない。しかし同時に、美味しいカフェ・オ・レとは何かを色々な喫茶店で経験することは、教育の枝葉として重要である。**ハイブリッド**であることが必要なのである。

本学情報教育研究センターでは、2019年度から2022年度の4年間をかけ、大学 ICT の基盤システム（DNS やユーザ認証、メールシステムといった、ICT サービスを支える部分）と教育研究システム（主にオンライン学習システムに関わる部分）を、**TYCOON 仮想化基盤**として、仮想化された一つの ICT 基盤に統合することを予定している。クラウドの普及にコスト面で寄与した仮想化技術を導入することにより、システムの構築費と維持管理費を下げつつ、堅牢な ICT 基盤を構築

する（図 3）。また仮想化基盤は TYCOON 内にオンプレミスで構築されるので、インターネットとは、次世代ファイアウォールによって隔離されている[3]。よってセキュリティの格付けの高い情報は仮想化基盤内で処理することができ、情報はインターネットに出ることはなく、十分なセキュリティが保たれる。



（図 3）完成時（2022 年）における TYCOON 仮想化基盤の概略図

一方、セキュリティの格付けの低い情報や、そもそも学外とのやり取りを目的とした情報については、パブリッククラウドを適宜利用することにより、ユーザーの利便性を上げる。しかしその際、パブリッククラウドと仮想化基盤の連携は、いつでも切り離すことができるように構築する。なぜならパブリッククラウドはメディア（情報の受け皿）としては他者であり、それゆえサービスとして使い倒すものだからである。物理学における熱力学第二法則に仮想の存在として現れるマクスウェルの悪魔のように、TYCOON 仮想化基盤とパブリッククラウドの間を流れる情報を監視、選別することが、組織の平均情報量（すなわち価値）を上げることに資するのではないか。

以上が TYCOON 仮想化基盤の目指すハイブリッドクラウドの真髄と考え、その構築準備とセキュリティポリシーの策定を進めている。

【参考文献】

[1] Akamai 社ホームページより : <https://www.akamai.com/> (2019 年 3 月 7 日確認)
 [2] 森河良太, 宮川毅, 林昌樹, 東京薬科大学研究紀要, 第 10 号 (2007) 77-82.
 [3] 森河良太, 倉田香織, 宮川毅, 土橋朗, 東京薬科大学研究紀要, 第 21 号 (2018) 61-66.