

コンピュータウイルスの現象 における生物学的類似点の研究

細 貝 康 夫*

Research of the biological analogy on the phenomenon of computer viruses

Yasuo HOSOGAI

The research community knows of over 3000 real-world malicious viruses. Viruses are becoming increasingly sophisticated, and this will raise the cost of protecting computer resources from them and correcting the damage they cause. This paper's objectives are to explore the analogy between biological viruses, to present some important insight into the future of computer viruses in particular, and to explain the issue of computer viruses.

1. はじめに

現存するコンピュータウイルス（以降、Computer Virusを**CV**と称す）は、3000種類以上あるといわれている。CVはますます洗練され、コンピュータ資源を保護するコストが増大しており、CVの被害をなくすることが重要である。本論文の目的は、CVの安全対策の見地から、**生物学的ウイルス**（以降、Biological Virusを**BV**と称す）とCVとの類似点を研究することにより、CVの将来を洞察し、問題点を明らかにすることである。

本論文では、第2章で最近のCVの定義と振舞いについて概観する。第3章で生物学的ウイルス（以降、Biological VirusをBVと称す）との類似点を検討するために、BVの定義と遺伝情報について述べる。そして、最後の章でCVとBVとの類似点をまとめ、その主な類似点について妥当性を明らかにする。

2. コンピュータウイルス

(1) CVの定義

1) コーエンによるCVの定義

CVとは、「他のコンピュータプログラムに自身のコピーを含ませるためにそれらのプログラムを修正することによって、伝染することができるプログラム」と定義している[1]。

2) 通商産業省コンピュータウイルス対策基準による定義

第三者のプログラムやデータベースに対して、意図的に何らかの被害を及ぼすように作られたプログラムであり、つぎの機能を一つ以上有するもの。

- ① 自己伝染機能：自らの機能によって他のプログラムに自らをコピーし、またはシステム機能を利用して自らを他のシステムにコピーすることにより、他のシステムに伝染する機能。

*経営工学科

- ② 潜伏機能：発病するための特定時刻、一定時刻、処理回数等の条件を記憶させて、発病させるまで症状を出させない機能。
- ③ 発病機能：プログラムやデータ等にファイルの破壊を行ったり、設計者の意図しない動作をする等の機能。

3) 最近のCVの定義

最近の定義では、図表1に示すようにCVの四つの本質的要素と二つの重要な要素から構成される[5]。

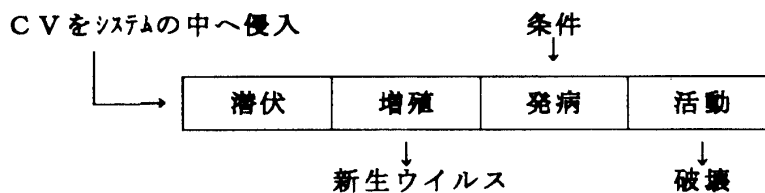
図表1 コンピュータウイルスの定義

コンピュータウイルスの四つの本質的要素	
1.	一組の命令である
2.	故意に作成される
3.	活発に増殖する
4.	他のプログラムに感染する
二つの重要な要素	
5.	被害を及ぼすことができる
6.	進化することができる

(2) CVの行動過程

CV行動の四つのフェーズは、それぞれのサブルーチンによって実行される。CVの行動過程は、図表2に示される[5]。

図表2 CV行動の四つのフェーズ



その概要は、次のとおりである。

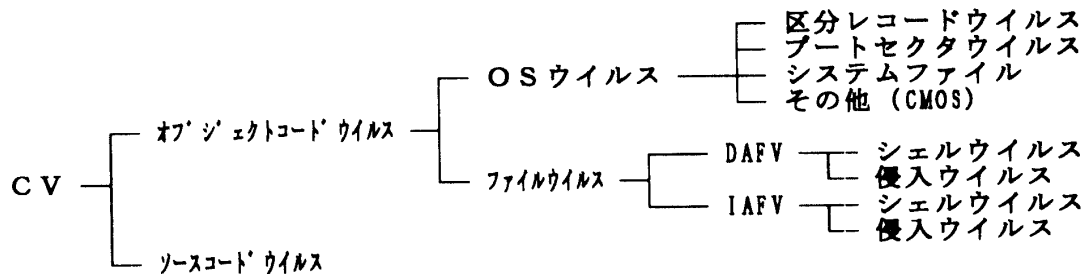
- a. **潜伏サブルーチン**：潜伏フェーズの間、CVは何もしない。このフェーズは、CVの作成者が信頼感をユーザーに徐々に教え込むために使用する。感染したフロッピーディスクを使用した後に、短期的に何も生じないため、ユーザーは様子変なのになほとんど気づかない。フロッピーディスクのような記憶媒体に不活発な状態で存在するCVは、特殊目的のために潜伏していると考えられる。
- b. **増殖サブルーチン**：CVは増殖フェーズの間、メモリまたは記憶媒体上に存在する多数のプログラムの中に自己を複製する。
- c. **発病サブルーチン**：発病フェーズつまり起動フェーズは、特定日の到達または与えられたCVの複製回数のように、CVの作成者が指定したある行為によって起動される。事実、いくつかの理論的に検証可能な条件は、CV起動命令として明らかにしている。
- d. **活動サブルーチン**：活動フェーズでは、CVは予めプログラムされた活動を行う。たとえば、画面上にメッセージまたは飛び跳ねる点を表示したり、単なるいたづらを引き起こし

たりし、不幸にも、データ、プログラム、オペレーティングシステムなどを破壊する。

(3) CVの分類

ウイルスの分類は、McAfee、FitzGerald、Solomonの研究がある。以上3人の分類を総合的にまとめたものを図表3に示す[5]。

図表3 CVの分類



DAFV：直接感染型ファイルウイルス、IAFV：間接感染型ファイルウイルス

3. 生物学的ウイルス

(1) BVの定義

保護外被に囲まれたRNAかDNAのいずれかをもつ感染単位のこと。機能のあるリボソーム(Ribosome)やその他の細胞性オルガネラ、エネルギー産生酵素系をもたない。大きさは増大することはないが、Nucleic Acidは感受性宿主細胞中での複製に必要な情報をもっている。この宿主細胞は、ウイルスの複製に必要な酵素のあるものは提供するが、主な機能は、エネルギー産生系を提供することである。宿主細胞はウイルスの増殖と遊離の過程で破壊される場合と破壊されない場合とがある[2]。

(2) 二本鎖DNAとRNA

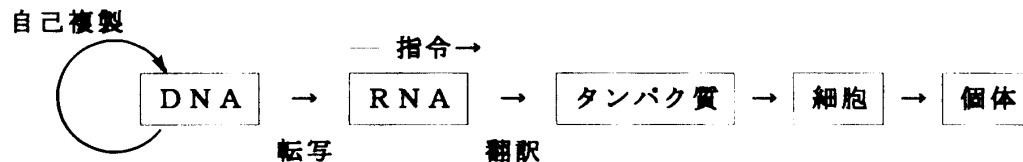
ここではウイルス、生物および人間をつくる遺伝子であるDNAとRNAについて説明する[4]。ウイルスなどをつくる情報は遺伝子情報と呼ばれ、DNA(デオキシリボ核酸)という高分子のテープ(素材は糖とリン酸)に刻まれている。このテープ上に化学物質からなる四つの文字A(アデニン)、T(チミン)、G(グアニン)、C(シトシン)が並んでいる。AとT、GとCは相性が良くてお互いに水素結合と呼ばれる力で対になっている。この化学的な性質が生物の情報を壊れにくい安定なものにしている。生物遺伝情報には、いつも「二本鎖DNA」とも呼ばれるプラスとマイナスの二本のDNAテープの形でバックアップされている。そのため、プラスのテープに傷がついても、マイナスのテープとの対の関係で元どおりの意味のある文章に直ちに修復することができる。

RNAは四つの文字を使うが、Tの代わりにU(ウラシル)を用いる。UはAとつながっている。RNAのテープ(素材は糖とリン酸であるが、糖に酸素が一つ余分に付いていることから)は、もろくちぎれやすい。情報を長く安定に保存する能力はDNAテープにはとても及ばない。逆に、RNAテープの情報は簡単に消してしまえることが、生物の情報発現とその消去に大いに利用されている。

(3) DNAの働き

DNAの働きは二つある。図表4に示すように、一つは自己複製であり、もう一つは自分の構造の一部をコピーしたようなRNA分子をつくることである[3]。

図表4 DNAの働き（自己複製と指令）

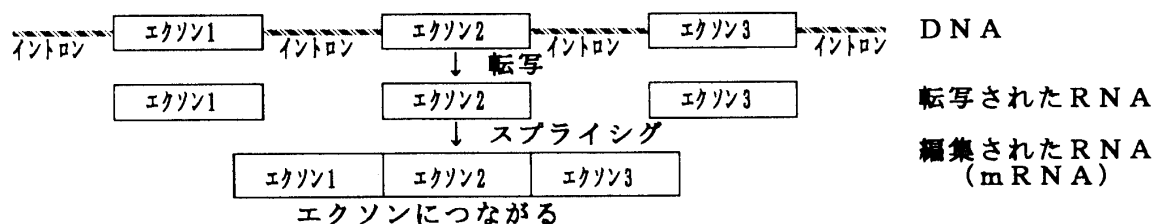


自分の構造の一部をRNAにコピーする過程を転写という。転写されてできるRNAの中には、それ自体が特別の役割をもつものもあるが、一部のRNAは、タンパク質を合成する。このRNAの中の塩基の並び方を意味する情報となっているのである。このようなRNAは、指令RNA（mRNA）と呼ばれる。mRNAの情報に基づいて、実際にタンパク質を合成する過程を翻訳という。

遺伝子（DNA）の情報とは、結局タンパク質を構成しているアミノ酸の並び方を決めている情報である。タンパク質を構成するアミノ酸は、20種類あり、これを利用する生物はタンパク質を合成して体をつくる酵素などの物質を作っている。20種類のアミノ酸の並び方はRNAテープを「翻訳」するときに決められる。RNAは四つの塩基（A、G、C、U）が三つ集まって一つの意味をもつ合計64語の言葉（コドン）になるが、20種類なので、一部は同じアミノ酸を意味する[3]。

人間の場合にはDNAテープの中に10万くらいの遺伝子があるといわれる。つまり、塩基対に換算すると、1億5000万の塩基対があれば人間の遺伝情報は揃っていることになる。しかし、実際には、人間は、30億の塩基対の並んだDNAテープを一つ一つの細胞の中に保管している[4]。それでは、あとの95%に相当する塩基は何にをしているのか、その一部は、発生、分化、増殖に応じてタイミングよく情報をそれぞれの場で発現し伝達するためのコントロールに働いていることが分かってきた。その他に、反復する配列とか、今は、働いていない偽遺伝子、それにウイルス遺伝子などもDNAテープの中に入っているが、その役割については、分かっていない。また、エクソンと呼ばれている意味のある単語と単語の間には、イントロンと呼ぶ意味なく詰め込まれた塩基群がDNAテープにあり、RNAに転写されてからイントロンの部分が切り落とされる。こうして単語と単語がつながれて意味のある文章の形をし

図表5 スプライシング



資料：畑中正一『現代ウイルス事情』岩波新書、1991年1月

たRNAテープに編集される。この過程をスプライシングという（図表5）。

編集されたRNAテープは、細胞の核から細胞質に輸送されて、タンパク質合成の工場であるリボソームに運びこまれる。運び込まれたRNAテープの情報とおりにアミノ酸が並び、タンパク質ができあがる。遺伝子から遺伝子産物が、すなわち、DNAのの遺伝情報からタンパク質が生まれる。

(4) 逆転写酵素とレトロウイルス

DNAがRNAに転写され、RNがタンパク質に翻訳される。この情報の流れは、一方通行であると考えられていたが、1970年にRNAウイルスの中にある酵素が見つかった。これが逆転写酵素である。逆転写酵素をもつRNAウイルスは、レトロ（逆転）ウイルスと呼ばれることになった[4]。

細胞の中にある逆転写酵素の働きでできあがった小さい遺伝子（ミニ情報）は、染色体上を飛び回ることができる。こうしたミニ情報を「レトロトランスポゾン」と呼んでおり細胞に移らない。このミニ情報が細胞の外に飛び出して、別の細胞や別の個体に移れるようになったのがレトロウイルスである。このウイルスだけが逆転写酵素を利用して、ミニ情報をDNAに転換し、生物界で使われている丈夫で長持ちのDNAテープと両刀遣いで情報を未来に伝えている。RNAには、DNAの役目もタンパク質の働きもできる特性がある。RNAだけで自分の情報を切ったり、貼ったりつないだりする編集能力がある。この機能をもつRNAを「ライボザイム」と呼んでいる。DNAには、この機能がないが、自分のもっている情報をダビングする、つまり、情報をそのまま複製することができる。

4. CVとBVにおける類似点

BVとCVの類似点の比較表を図表6に示す。次に主な類似点について妥当性とCVの安全対策上の問題点を述べる。

(1) 細胞とコンピュータ

細胞は組織体であり、その中で新陳代謝的に活動する蛋白質と情報伝播核酸の調和した活動が化学的エネルギーによって営まれる生命プロセスの機能を保証する。コンピュータは組織体であり、その中でハードウェアとソフトウェアの調和した活動が電気的エネルギーによって行われるコンピューティングプロセスの機能を保証する。ソフトウェアと遺伝物質の両方は、情報を含む。この情報は、コンピュータハードウェアと細胞機構の活動を調和するために用いられる。

(2) ウイルスの宿主

BVとCVの両方は、小さなエンティティ（実在物）である。より大きな自給自足の宿主エンティティを宿主にすることによって、新しいCVの複製を産出する一連の複製作業を遂行するためにとりこにする。BVでは、一連の命令がウイルス遺伝子の中にコード化される。さらにBVの複製は宿主を出て、他の宿主をとりにする。

(3) ウイルスの宿主、ゲノムとプログラムのサイズ

図表6 生物学的ウイルスとコンピュータウイルスの類似点の比較表

	生物学的ウイルス (BV)	コンピュータウイルス (CV)
ウイルスの大きさ	3~20 対塩基対 (nucleotide pairs)	0.1~129.4 kバイト
宿主の大きさ種	4000~ 3×10^6 対塩基対	1~4000 Kバイト
細胞間感染伝播	①遊離ウイルス ②接触 ③遺伝子組み替え後の細胞分裂	①アクセス
体内感染様式	①侵入部位で増殖・発病 ②潜伏 ③増殖後全身に伝播してさらに増殖	①侵入部位で増殖・発病 ②潜伏 ③増殖後他システムに拡散
伝播・感染モード	①飛沫 (空気) 感染 ②経口感染 ③接触感染 ④節足動物の媒介	①コンピュータネットワーク ②キーボード ③フロッピーディスク ④ROM、電子掲示板
感染の特徴	(エイズウイルスの場合) ①ヘルパーT細胞に感染 ②免疫不全状態を引き起こす	①オーバーライト (上書き) ②割り込み、分岐
個体間伝染	①水平感染 ②垂直 (母子) 感染	①水平感染 ②垂直 (世代) 感染
免疫	①体液性免疫 ②細胞性免疫	①スキャン法 ②擬態接種 ③認証子接種
ワクチン	①弱毒化ワクチン ②不活化ワクチン ③サグニットワクチン ④ベクターワクチン ⑤イディオタイプワクチン	①感染防止型ワクチンプログラム ②感染検出型ワクチンプログラム ③感染検出・排出型ワクチンプログラム
遺伝情報コードと文字数	①DNAはA、T、G、Cの4文字 ②RNAはA、U、G、Cの4文字	ASCIIコード 256文字 EBCDICコード 256文字
情報量	①人間の遺伝子: 60億文字 ②エイズウイルス: 9000文字	オーストラリアウイルス 0.4 Kバイト (約400文字) アザライウイルス 13.3 Kバイト (約13300文字)
情報蓄積場所	①2本鎖DNA ②RNA	OSウイルス: DOSのメモリ ファイルウイルス: アプリケーションプログラムのメモリ
宿主のエネルギー	化学的エネルギー	電気的エネルギー

図表 7 生物学的ウイルスのゲノムとプログラムのサイズ

	生物学的	コンピュータの
ウイルス	小 3 キロ塩基対 (肝炎 B)	0.1 キロバイト (Mini-45) ・
	大 20 キロ塩基対 (ヘルペス)	29.4 キロバイト (Joker2) ・
宿主	小 4000 キロ塩基対 (バクテリア)	1 キロバイト (多数の宿主)
	大 3×10^6 キロ塩基対 (哺乳類)	4000 キロバイト (dBASEIV)

* : 修正

出所 : E. Louw & N. Duffy, "Managing Computer Viruses", Oxford University Press, 1993

(4) ウイルスの感染場所

① B V の感染、潜伏場所

B V の感染、潜伏場所が種類によって違うのは、C V の感染が O S によって違うのとやはり同じである。例えば、肝炎ウイルスは肝臓に巣くう。ヘルペスウイルスや日本脳炎ウイルスは神経系統が感染場所で、そこに感染するわけである。B V は潜伏しているときに、自分の情報をダビングしている。ただ、そのダビングはホストの作ったプログラムで、ホストのもっているハードを利用してダビングしている。

② C V の感染場所

C V の感染場所の分類が行われている。パソコンの D O S の感染場所を図表 8 に示す。

図表 8 コンピュータウイルスの感染場所

- ・ DOS の起動プログラム (ブートローダー、IPL)
- ・ DOS の心臓部
- ・ ディスクドライバー
- ・ COMMAND. COM
- ・ COM 、 EXC ファイル
- ・ OCR 、 BAT ファイル

(5) 一組の命令

B V では一組の命令が遺伝子の中に組み込まれる。生物の遺伝子は、生物学の青写真であり、遺伝子の中に構成される D N A または R N A の分子の組織体の中に生物に対する機能と再生産に必要とされるすべての情報が本来備えられている。

(6) 故意に創造される

このことは、B V が人工的に作られないことから、最も重大な違いである。しかしながら、遺伝子学的に作られた実在している B V の変種には、事実多くの故意に創造された B V がある。

(7) 活発に増殖する

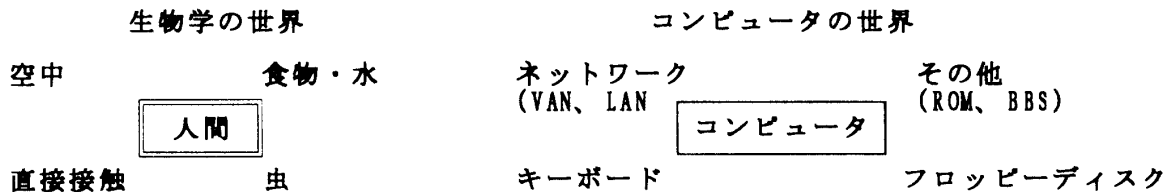
複製する能力は両タイプのウイルスの本質的特性である。

(8) ウイルスの伝播

伝染病は二つの方法でホストの人口を通じて拡散する。「共有媒介物」による増殖は病原体が食物、水、空気、または接種で伝播されるときに起きる。たとえば、サルモネラは感染され

た食物を食べることによって生じる。コンピュータの世界から「共有媒介物伝染の例」は、AIDSに対する（ただし、トロイの木馬を含んでいるが）情報を支援する何千枚のフロッピーディスクの発売がある。ホストからホストまで「連続伝播」による増殖は、病原体が感染された空気、食物、水またはベクター（昆虫、植物）によって伝播される。

図表9 ウイルスの伝播：感染モード



出所：E. Louw & N. Duffy, "Managing Computer Viruses", Oxford University Press, 1993

(9) 害を与えることができる

一般に両タイプのウイルスに当てはまるが、どちらも本質的な要素ではない。

(10) ウイルスの進化

① BVの進化

BVは、自然界がむしろ傷がつくように、変わるような形で、36億年以上かけて進化してきたのである。進化はウイルスを含めて生物の大きな特徴である。進化実験ではPCR法という、DNAテープを試験管の中でどんどん増やす技術があつて、そこへA、T、G、Cをを入れ込んで、DNAやRNAを切るという酵素活性を全くデザインせずに、突然変異にまかせるのである。そうすると、人間が考え出したよりも数百倍酵素活性のよいものがあがる。

② CVの進化

CVは伝染を介して人為的に進化している。CVがランダムな事象によって発生する可能性があるかどうか検討する必要がある。コーエン（1987）は、CVを数学用語で定義するために、チューリングマシン理論と形式論理を用いた。テープ上に与えたビット列が1台のチューリングマシンによって翻訳されるときにCVになるが、もう1台のチューリングマシンでは、CVにならなかったことから、コーエンは「ウイルス集合」といった：ウイルス集合とは、ビット列とこの列をCVとして扱う（別の複製を作る）チューリングマシンとの結合である。この方法で彼は、CVの計算上の特性を探索することができたという。

参照・参考文献

- [1] F. Cohen, "Computer Viruses: Theory & Experiments", 7th DOD/NBS Computer & Security, Sept. 1984
- [2] K. E. K. Rowson, T. A. L. Rees, 北野忠彦訳『ウイルス辞典』西村書店、1990. 9
- [3] 石川 暁『DNAから遺伝子へ』東京化学同人、1991年9月
- [4] 畑中正一『現代ウイルス事情』岩波新書、1991年1月
- [5] E. Louw & N. Duffy, "Managing Computer Viruses", Oxford University Press, 1993

(平成7年12月14日受理)