

CPU・プログラム・OS —— コンピューターの仕組み

# アキレスと コンピューター蟻 の冒険

Toshiyuki Sakamoto  
坂本俊之 著



CPU、メモリ、OS、アルゴリズム、コンパイラなど、  
コンピューターとプログラムの基礎を丁寧に解説!

IT企業の新入社員や  
理系学生、必携の1冊!

C&R研究所

### C&R研究所について

C&R研究所は新潟市にある出版社です。ユニークな社風や教育方針は新聞やテレビなどで紹介されたりします。詳細については、次のWebサイトでご覧いただくことができます。

**[www.c-r.com](http://www.c-r.com)**

また、新潟本社には2代目会社犬「ラッキー」がいます。名刺を持つ正式な社員として広報部に勤務しつつ、セラピードッグとして社内のメンタルヘルスにも貢献しています。

●会社犬「ラッキー」



CPU・プログラム・OS —— コンピューターの仕組み

# アキレスと コンピューター蟻 の冒険

Toshiyuki Sakamoto

坂本俊之 著



## ■権利について

- 本書に記述されている社名・製品名などは、一般に各社の商標または登録商標です。
- 本書では™、©、®は割愛しています。

## ■本書の内容について

- 本書は著者・編集者が慎重に検討し、著述・編集しています。ただし、本書の記述内容に関わる運用結果にまつわるあらゆる損害・障害につきましては、責任を負いませんのであらかじめご了承ください。

### ●本書の内容についてのお問い合わせについて

この度はC&R研究所の書籍をお買いあげいただきましてありがとうございます。本書の内容に関するお問い合わせは、「書名」「該当するページ番号」「返信先」を必ず明記の上、C&R研究所のホームページ(<http://www.c-r.com/>)の右上の「お問い合わせ」をクリックし、専用フォームからお送りいただくか、FAXまたは郵送で次の宛先までお送りください。お電話でのお問い合わせや本書の内容とは直接的に関係のない事柄に関するご質問にはお答えできませんので、あらかじめご了承ください。

〒950-3122 新潟県新潟市北区西名目所4083-6 株式会社 C&R研究所 編集部  
FAX 025-258-2801  
「アキレスとコンピューター蟻の冒険」サポート係



## はじめに

---

「コンピューターって、どうやって動いているんだろう？」

一見すると単純で、小さな子供がふと口にするような、素朴な疑問ですが、その問いにしっかりと答えようと思うと、意外なほど難しいことに気がきます。

それは、現代のコンピューターが、さまざまなハードウェアとソフトウェアを組み合わせられて構成された、複雑な機械であるからに他なりません。

「コンピューターの動作」と一口で言っても、その実際を正確に把握するためには、専門外の方にはなじみの薄い概念を多数、理解しなければならず、それが高いハードルになってしまうのです。

もちろん、計算機科学について学べば、計算機の行うこと、つまりコンピューターが行えることについて、数学的に明確な定義を知ることができます。

しかし、そういった学問的な解説は、多くの方々にとって(時には、プログラミングをはじめとした実際の開発を行う、「プロ」のエンジニアにとってさえ)、専門的で退屈な話になってしまいがちです。

私が『アキレスとコンピューター蟻の冒険』を書いたのは、「コンピューターって、どうやって動いているんだろう？」という素朴な疑問に対して、計算機科学やオートマトンといった学問的下地なしに、直感的に説明しなかったためです。

『アキレスとコンピューター蟻の冒険』の各章は、それぞれコンピューターに関する特定の分野に対応しており、小説的な物語が書かれた前半部分と、解説セクションである後半部分に分かれています。

そして、前半部分の物語では、よく会話に出てくるような「コンピューターの中の人」たちが、「コンピューターの中の世界」を動き回ることによって、コンピューターが動作する仕組みを、模擬的に表現しています。

そのようなアプローチは、ともするとSF的なものになってしまいがちですが、コンピューターの動作について学び始める、または興味を喚起する

ための導入として、楽しみながら読んでいただけたと思います。

また、『アキレスとコンピューター蟻の冒険』は、すでにコンピューターについて深く理解されている読者としても、楽しく読んでもらえる書物になっていると思います。

『アキレスとコンピューター蟻の冒険』に登場する物語は、もちろんフィクションなのですが、物語中の要素と実際のコンピューターの要素とが、可能な限り対応するように描かれているので、すでにコンピューターについて深く理解されているエキスパートにとっては、普段、自分が慣れ親しんでいる概念をパロディ化した読み物として、コーヒープレイクのお供に最適でしょう。

さらに、コンピューターについてある程度の知識がある読者なら、前半部分の物語を読みながら、対応する実際のコンピューターの要素を予想する、という楽しみ方もできることと思います。

『アキレスとコンピューター蟻の冒険』の物語は、読者のレベルに応じてさまざまな楽しみ方ができますが、そこに変わらずにあるのは、「コンピューターはどのように動作しているのか」という疑問について、直感的な理解を与えるという目的です。

読者の方々には、『アキレスとコンピューター蟻の冒険』の物語を通じて、コンピューターの動作する基本的な仕組みについて理解を深めていただければと思います。

最後になりましたが、『アキレスとコンピューター蟻の冒険』の企画から編集までを担当してくださったC&R研究所の吉成さん、イラストを描いていただいたC&R研究所デザイン室の坂上さん、その他、本書の出版に協力してくださった方々に、深く感謝いたします。

2015年12月

坂本 俊之



# CONTENTS

## 第①章 コンピューター世界の住人たち ——プロセッサとメモリについて

➤アキレスとコンピューター蟻の物語 .....	10
【解説】「コンピューター世界」について .....	25
コンピューターによる「処理」とは .....	26
コンピューターと人間 .....	30
COLUMN 本書における「リボン」と「チューリングマシン」 .....	36

## 第②章 コンピューター上のデータと 離散的な世界

➤データでできた世界 .....	38
【解説】 コンピューターの扱う情報について .....	51
コンピューター上でのデータ .....	54
プログラミング上でのデータ .....	60

## 第③章 コンピューターへの命令と プログラミング言語について

➤古文書のリボン .....	64
【解説】 プログラミング言語と言語設計 .....	84
処理構造の記述と言語 .....	86
実際のプログラミング言語 .....	89
COLUMN コンピューター蟻に理解できない命令とは .....	97

## 第④章 大規模システムとプログラムの構造化について

≫ブロックでできた建物 .....	100
【解説】プログラムの構造化 .....	115
サブルーチンと関数 .....	117
画像処理アルゴリズム .....	124
COLUMN アルゴリズムとデータモデル .....	128

## 第⑤章 プログラム設計 ——概念レベルのエレベーター

≫シューティングゲームの世界 .....	130
【解説】ゲームプログラムの動作 .....	149
プログラム設計 .....	152
デバッグとブレイクポイント .....	158
COLUMN プログラムを記述する方法について .....	160

## 第⑥章 オペレーティングシステム、マルチタスク、デーモン

≫プログラム街1番地 .....	162
【解説】オペレーティングシステムについて .....	179
デーモンとアプリケーションソフトウェア .....	184
プロセス間通信 .....	188





## 第7章 アルゴリズム論に関する小講座

リボン上のダンス .....	194
【解説】 プログラムとアルゴリズム .....	215
アルゴリズムの性能評価 .....	216
<b>COLUMN</b> アルゴリズムの実行時間について .....	222

## 第8章 プログラミングの実際 ——コンパイラとインタプリタ

図書館での授業 .....	224
【解説】 実際のプログラミング言語 .....	238
インタプリタとバーチャルマシン .....	240
どの言語を学ぶべきか .....	243

## 第9章 物語の総括と さらなる学習のための章

新たな旅立ち .....	246
【解説】 本書で見学してきたコンピューター世界について .....	248
より進んだ理解を求める読者へ .....	250

索引 .....	254
----------	-----



# 第1章

## コンピューター世界の住人たち ——プロセッサとメモリについて



# アキレスとコンピューター蟻 の物語

「やあ、これはなんて奇妙な蟻なんだ」

ある日、アキレスは足下を見ると、そうつぶやきました。

「普通、蟻といえば6本足と決まっているのに、この蟻には8本も足がある」

アキレスはそう言うのと、その蟻をもっとよく観察してみようと、その場にしゃがみ込みました。

すると、

「それは、僕が『コンピューター蟻』だからだよ」

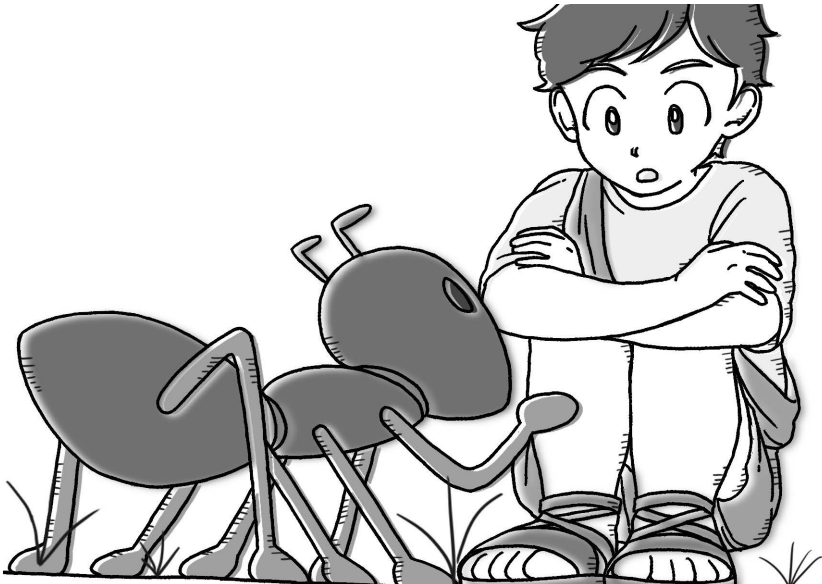
8本足の蟻がアキレスに向かって、そう言いました。

「驚いたな！ 蟻が口をきいて自分から名乗りを上げるなんて。『コンピューター蟻』だって？」

驚いたアキレスがそう声を上げると、コンピューター蟻と名乗った蟻は、「そうだとも。僕らをその辺の蟻たちと一緒にしてもらっちゃ困るね。君はこの『コンピューター世界』は初めてなのかい？」

と言いました。

「ああ、僕は这个世界には初めてやってきたんだ。なにに、『コンピューター



世界』だって？ それに『僕ら』ということは、君みたいな蟻は他にもたくさんいるのかい？」

アキレスはコンピューター蟻の話に興味を覚えて、そう質問をしました。「もちろんだとも。この『コンピューター世界』は、僕らが見えないところで仕事をしているからこそ、こうやって存在しているんだよ」

アキレスの質問にコンピューター蟻はそう答えたので、アキレスは、「へえ、それは興味をそそられるね。僕にも君たちの仕事について、教えておくれよ」

と言って、コンピューター蟻に、彼の仕事について教えてくれるよう頼みました。

するとコンピューター蟻は、「いいとも。君が本当に興味を持っているのならば、僕が案内してあげよう。実はすぐそこに、人間でも通れる大きさの蟻道が開いているんだ。そこから僕たちコンピューター蟻の世界に降りていってみようじゃないか……」と答えて、アキレスを蟻道へと案内し始めました。

そうしてアキレスは、1匹のコンピューター蟻に案内されて、『コンピューター世界』の地下へと旅だったのでした。

## ➤コンピューター世界の地下

コンピューター蟻がアキレスを案内した蟻道は、大人の人間が立って歩けるほどの大きな穴でした。

コンピューター蟻に案内されて蟻道を進んでいき、やがて最後の曲がり角を曲がると、アキレスの目の前に広い視野が開けました。

「なんてこったい！ 『コンピューター世界』の地下に、こんなに広い洞窟があるなんて」

その洞窟は、それはそれは広いもので、そこが蟻道を降りてたどり着いた地下の世界だとは想像もできないものでした。アキレスが見ると、洞窟の反対側は見えないほど遠くにあり、山や川のような地形もいくつか、その中にすっぽりと含まれているようでした。

「そうさ、驚いたかい。それじゃあ、僕らの仲間を紹介してあげよう」

コンピューター蟻はそう言うのと、アキレスをある屋敷へと案内していき  
ました。

## リボンが敷き詰められた庭

アキレスが案内された屋敷は、こじんまりとした雰囲気のある洋館で、  
趣味のいいコーヒーハウスを思わせる造りのものでした。

屋敷の庭は垣根で囲まれており、その中からはしきりに、「忙しい、忙しい」  
という声が聞こえていました。

アキレスはその声に興味を引かれたので、つま先立ちになって垣根の向  
こう側をのぞいてみました。

「この向こう側に、誰かがいるのだろうか？」

そう言ってアキレスが垣根の向こう側をのぞくと、そこはいくつかの花  
壇と噴水と植木がある立派な庭園でしたが、それ以上にアキレスの目を引  
いたのは、庭中の地面という地面に、何やらピンク色の細長いものが敷き  
詰められていたことです。

「おや、随分と広い庭じゃないか。それに、あのリボンは何だろう？」

そう言ってアキレスが目をこらすと、庭中に敷き詰められているピンク  
色のリボンには、細かい文字がびっしりと書き込まれているようでした。

「一体、あのリボンには、何が書かれているのかな？」

アキレスがそう思っていると、

「忙しい、忙しい」

と言いながら、1匹のコンピューター蟻が、アキレスの目の前に敷かれてい  
るリボンの上を、猛スピードで走り抜けようとしていました。

「ねえ、君。君は一体、そこで何をしているんだい？ それに、そのピンク  
色のリボンには一体、何が書かれているんだい？」

アキレスはそのコンピューター蟻に声をかけましたが、そのコンピューター  
蟻は、

「うるさいな。垣根の外から声をかけたりしないでくれ。こっちは忙しい  
んだから」

と言って、あっという間にアキレスの目の前から消え去ってしまいました。

その後、しばらくしてもそのコンピューター蟻がアキレスの前に戻ってくる気配はなかったので、アキレスは屋敷の中へと入ってみることにしました。

屋敷のホールにはいくつかのテーブルが並べられていて、その上に置かれたマグカップからは香ばしいコーヒーの香りが漂っていました。

「ねえ君、あの庭にいた蟻は一体、何をしていたんだい？」

屋敷の中に入ったアキレスは、コーヒーの入ったマグカップを1つ手に取ると、アキレスを案内してくれたコンピューター蟻にそう尋ねました。

「ああ、彼はちょうどリボンを『処理』しているところだったんだよ」

コンピューター蟻は、テーブルの上へと登ってシロップの入った容器を取ると、そう答えました。

アキレスは、コンピューター蟻の言う『処理』の意味がわからなかったので、コンピューター蟻に、

「リボンを『処理』するって何のことだい？」

と質問をしました。

「あれは、僕たちコンピューター蟻の一番大事な仕事なんだ。中には四六時中ずっと『処理』を続けているやつもいる。君は返事をもらえただけでも幸運だったよ。中には周りから何を言われてもまったく気付かず、リボンだけを追いかけるばかりのものもいるし……というか、ほとんどそんな奴ばかりなんだから」

アキレスの質問にコンピューター蟻はそう答えましたが、アキレスは、その答えを聞いて、

「へえ、そんなに面白い仕事があるなんて、気になるね。あのリボンには一体、何が書かれていたのかな」

と言いました。

アキレスのその言葉を聞いて、コンピューター蟻は、

「『処理』の内容を記述する『命令』のリストさ。もし僕らの仕事について興味があるなら、この屋敷の裏庭に人間用に作られたリボンが置いてあるから、そこへ行ってみないかい？」

と言ってきたので、アキレスは、

「それは願ったり叶ったりだね。ぜひとも僕をその人間用のリボンとやらに連れていってくれよ」

と言って、人間用のリボンに連れていってくれるよう、コンピューター蟻に頼みました。

「もちろんだよ。それじゃあ、裏口へ行こうか」

そうしてアキレスは、テーブルの上のコーヒーを飲み干すと、コンピューター蟻と一緒に屋敷の裏庭へと行きました。

## 鐘の音を合図に

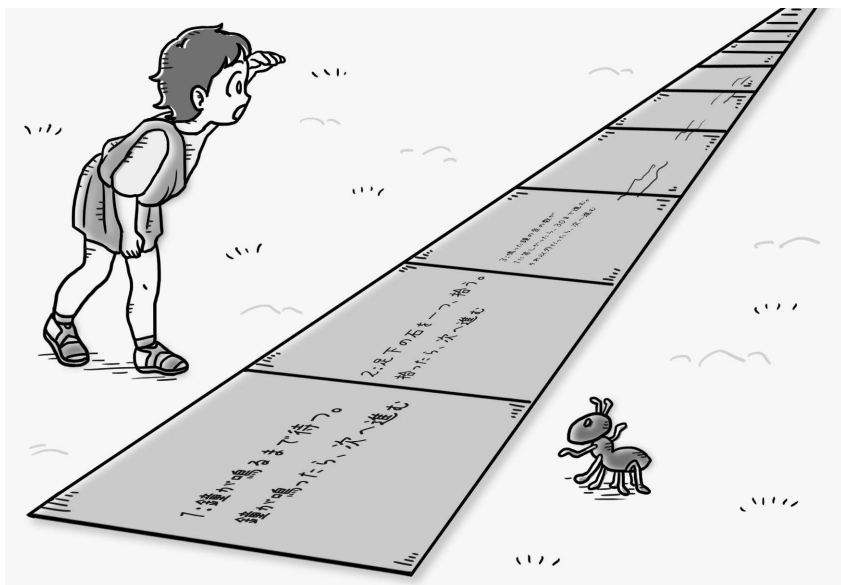
屋敷の裏庭は広い運動場ようになっており、短距離走のトラックのようなものがありました。また、トラックのすぐそばには、こんもりと土を盛った小さな山があり、その上には火事のように打ち鳴らすような鐘が1つ、ぶら下げられていました。

「やあ、あそこにリボンが置いてあるぞ」

アキレスは、裏庭にあるトラックを見てそう声を上げました。

アキレスの言う通り、トラックのスタート地点には、先ほどアキレスが見たリボンにそっくりな、でももっと太くて、アキレスにも読みやすいサイズの文字が書かれている、ピンク色のリボンがありました。

「このリボンは、どこまで続いているのだろう？」





そう言ってアキレスはリボンの先の方を見ましたが、リボンはトラックに沿ってずっと続いており、反対側の端は遠くて見えませんでした。

アキレスが、リボンの先の方がどうなっているのか確かめようとしたとき、「勝手に進んじゃ駄目だよ。リボンにはそれぞれ、スタート位置が決められているんだ」

とコンピューター蟻が声を掛けてきました。

そこでアキレスは、コンピューター蟻の方を向いて、「そうなんだ。このリボンのスタート位置は、どこになるんだい？」

と聞きましたが、コンピューター蟻は、

「このリボンの場合、スタート位置はリボンの最初の端だね。その端から始めてごらん」

とだけ答えました。

アキレスは一体、何を始めればいいのかわからなかったので、コンピューター蟻に、

「始めるっていっても、一体、何をすればいいんだい？」

と聞きました。

「心配しなくても大丈夫だよ。まずはリボンの最初の端に行ってごらん。僕はあの山に登って、鐘を鳴らすから」

コンピューター蟻にそう言われて、アキレスはトラックのスタート地点にあるリボンの端のところまでいきました。

アキレスがリボンの端を見ると、そこには、『1』という番号と、続けて次のような『命令』が書いてありました。

## 1. 鐘が鳴るまで待つ。鐘が鳴ったら、次へ進む

アキレスは、その『命令』を読んで、

「なるほど、これが『命令』というやつか。どれどれ、最初は『鐘が鳴るまで待つ』か。鐘というのはあの山の上に吊してあるやつのことだな。それじゃあ、鐘が鳴るまで待つことにしようか」

と思ったので、鐘の音が聞こえてくるまで待つことにしました。

すると、アキレスがさほど待つこともなく、すぐに「カーン」と山の上から鐘の音が聞こえてきました。

「やあ、鐘の音が聞こえたぞ。『命令』には、『鐘が鳴ったら、次へ進む』とあるから、リボンに書かれている次の『命令』に進もう」

アキレスはそう言ってリボンをたどって一歩進みました。

するとそこには、

## 2. 足下の石を1つ、拾う。拾ったら、次へ進む

と書いてありました。

「なるほど、このリボンに書かれている『命令』は、1から順番に番号が振られているんだな。最初の番号が『1』で、今いる番号は『2』。すると次の命令は『3』という番号に違いないよ」

アキレスは、その『命令』がどんな目的で石を拾わせているのかは皆目わかりませんでした。とりあえず『命令』に従って足下の石を拾い、リボンをたどってもう一歩進みました。

## 3. 鳴った鐘の音の数が1に等しかったら、30まで進む。

それ以外だったら、次へ進む

アキレスが進むと、そこのリボンに書かれていたのは、この『命令』でした。

アキレスは、最初に聞いた鐘の音を思い出しながらつぶやきました。

「ええと、この『鐘の音』というのは、一番最初の『命令』のときに聞いた鐘のことだな。あのときは、『カーン』と1回だけ鐘の音が鳴った。ということは、『鳴った鐘の音の数が1に等しい』から、30というところまで進まなきゃならない」

アキレスはその命令を読んで、今度は次の『命令』をすべて読むことはせずに、その最初に書かれている番号だけを見て、どんどんリボンに沿って進んでいきました。

やがてアキレスは、『30』という番号で始まっている『命令』のところで立ち止まりました。すると、そこには、

## 30. 6192まで進む

とだけ書かれていました。

「びっくりだ！ 随分と大きな数字が出てきたな。6192だって？」

アキレスはリボンの先を眺めてみましたが、リボンは当分終わることなく続いているようで、その先がどうなっているのかは見ることはできません。

「仕方がない、走るとしよう」

アキレスはそう言って、リボンに沿ってトラックを走り始めました。

「おや、これはどういうことだろう」

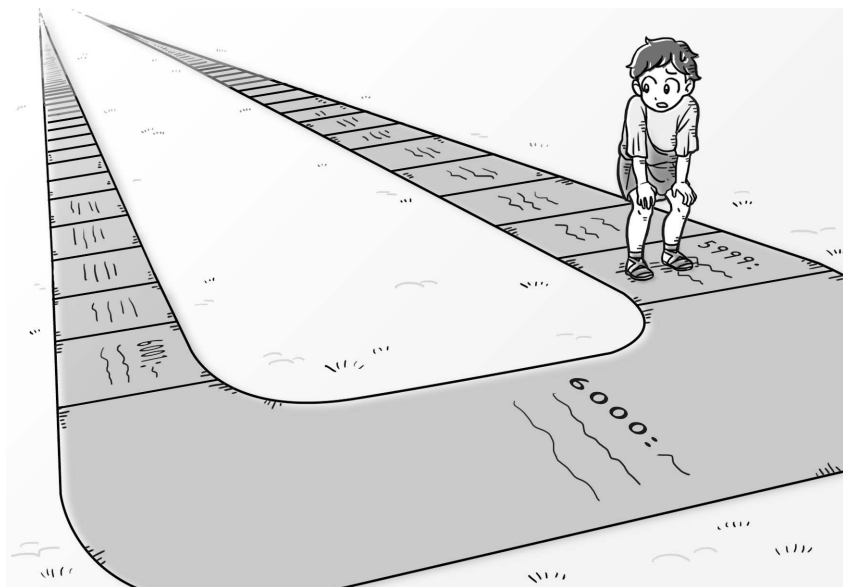
アキレスがそう思ったのは、リボンの番号がちょうど6000になるところまで走ったときのことでした。

それまでは一直線に続いてきたリボンが、6000番の命令のところで、マラソンの折り返し地点のように反対方向に折り返していたからです。

「リボンはここで折り返しているけれど、僕はまだ、目的地の6192には到着していないぞ」

アキレスはそう言うと、リボンに沿って折り返して反対方向へと進みました。

すると、さらに128個の命令を読み飛ばしたとき、再びリボンが反対方向、つまり、最初の一直線と同じ方向に、折り返していました。



アキレスはそこでもリボンに沿って進み、しばらくすると、『6192』と書かれている『命令』にたどり着きました。

「やっと到着した。どれどれ、ここに書かれている命令はどんなのだろう？」

アキレスはそう言ってリボンをのぞき込みました。するとそこには、

6192. 持っている石をリボンの上に置く。

置いたら元の場所に戻って、1つ進む

という『命令』が書かれていました。

アキレスはその『命令』を読むと、

「なんてことだ。せっかくここまで来たのに、また元の場所に戻らないといけないなんて。いや、正確には、元の場所に戻って1つ進まないといけないなんて」

と言って、先ほど拾った石をリボンの上に置き、猛ダッシュで元いた『命令』のところまで戻りました。

「さて、元の場所に戻って、1つ進むと」

アキレスは30番の命令に戻ると、そう言って再びリボンに沿って一歩進みました。

すると、そこには、

31. 足下の石を1つ、拾う。拾ったら、次へ進む

という『命令』が書かれていました。

「この『命令』は、さっきと同じ命令だな。まさか、次に進んだら、またずっと先の方まで進まないといけないのかな？」

アキレスはそう思いながら、リボンに沿って一歩進みました。

するとそこに書かれていた『命令』は、アキレスの予想に近いものでした。

32. 6319まで進む

「やっぱりだ！ だけど、さっきとは進む先が違っているな。ということは、今度は進んだ先には別の『命令』が書かれているかもしれない。また走るこ

とになるけど、6319まで進んでみよう」

アキレスはそう言って、再びリボンに沿って走り出しました。途中でリボンは、3回折り返していましたが、アキレスはリボンに沿って走り続け、やがて6319番目の『命令』にたどり着きました。

するとそこに書かれていたのは、

6319. 持っている石をリボンの上に置く。

置いたら元の場所に戻って、1つ進む

という命令でした。

アキレスはその後、石を拾ってはリボンの折り返し点の先まで進むという命令を繰り返し実行することになりました。

やがてアキレスがリボンに沿って行ったり来たりするのに飽き飽きしてきたころ、それまでとは異なる『命令』が現れました。

## 81. 1に戻る

アキレスはその命令を読んで、

「おや、もう石は拾わなくてもいいのかな。『1に戻る』だって？　つまり、最初に戻るということか」

とつぶやき、リボンの最初の端へと戻っていきました。

アキレスがリボンの最初の端へと戻ると、そこには小山の上から降りてきたコンピューター蟻が待っていました。

「やあ、やっと戻ってきたね。随分と時間がかかったようだけど、人間にしては速かった方だよ。どうだったい？」

コンピューター蟻はそう聞いてきましたが、アキレスにはこの仕事が、コンピューター蟻が夢中になるほど面白いものだとは思えなかったので、アキレスは首をかしげながら、

「どうもこうも、リボンに沿って走り回ってただけで、何をしているんだか全然わからなかったよ。これが君たちの言う『処理』なのかい？」

と言いました。

コンピューター蟻は、アキレスに対してそれが当然だという顔をしながら、「そうだよ。君は気に入らなかったのかい？」

と言いました。そして、続けて、

「ところで、君はここに帰ってきたけれど、『処理』はまだ終わりじゃないよ。君が最後に見た『命令』は何だった？」

と聞いてきたので、アキレスは、最後に見た『命令』を思い出して、

「ええと、それは『81. 1に戻る』というものだったよ。だから僕はここに帰ってきたんだから」

と答えました。

するとコンピューター蟻は、

「そうだけど、それは君がまだ、リボン上の『1番目の命令』のところにいるという意味だからね。『1番目の命令』には何が書かれている？」

と言うので、アキレスは足下のリボンを見て、リボンの最初に書かれている命令を読み直しました。

「ええと、『1. 鐘が鳴るまで待つ。鐘が鳴ったら、次へ進む』だ。ということは、鐘が鳴ったら、僕はまた次へと進まないといけないのか。でもそれだと、同じことをずっと繰り返すことにならないか？」

アキレスはそう言っとうんざりした顔をしましたが、コンピューター蟻は、「いや、このリボンには『処理の分岐』があるから、必ずしも同じことの繰り返しになるとは限らないよ。でも、君は走り回って疲れたようだから、今度は僕が『処理』を替わってあげよう」

と言い、アキレスに変わって『処理』を行ってくれることになりました。

「そうしてくれよ。僕はリボンに沿って行ったり来たりして、もうくたくただ。僕は君の代わりに山に登って鐘を鳴らすから」

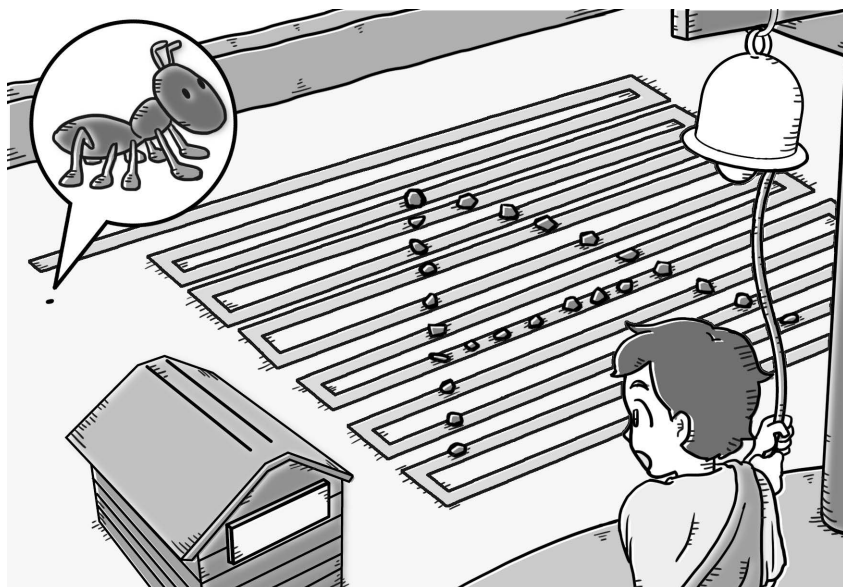
アキレスはそう言ってコンピューター蟻と場所を変えると、鐘を吊してある小山の上へと登っていきました。

## 山登りの後の発見

アキレスは、小山の頂上まで登り、鐘を吊している柱の隣に立ちました。

「やあ、いい眺めだ。さっきのリボンが全部、見下ろせるぞ」

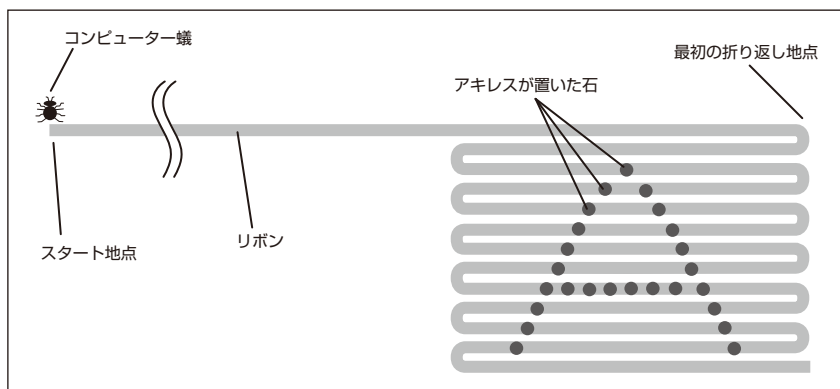
アキレスはそう言って、眼下の景色を眺めました。



小山の頂上からは、アキレスの言う通り、先ほどのリボンが置いてあった裏庭をすべて見渡すことができました。

「どれどれ、リボンの端にいるのはコンピューター蟻だな。やあ、あれが僕が走り回って置いてきた石たちだ」

そう言ってアキレスが風景を見下ろすと、眼下にあるリボンがどうなっているのかわかりました。



「おおおや、僕が置いてきた石たちが、アルファベットの『A』の形に並んでいるぞ」

アキレスは、リボンの上に置かれた石が、アルファベットの『A』の形に並んでいる意味について考えてみましたが、特に何も思いつかなかったので、柱にぶら下げられている鐘を鳴らしてみることにしました。

「カーン、カーン」

アキレスが2回鐘を打ち鳴らすと、眼下のコンピューター蟻が動き出し、リボンの上をものすごい速度で動き回るのが見えました。

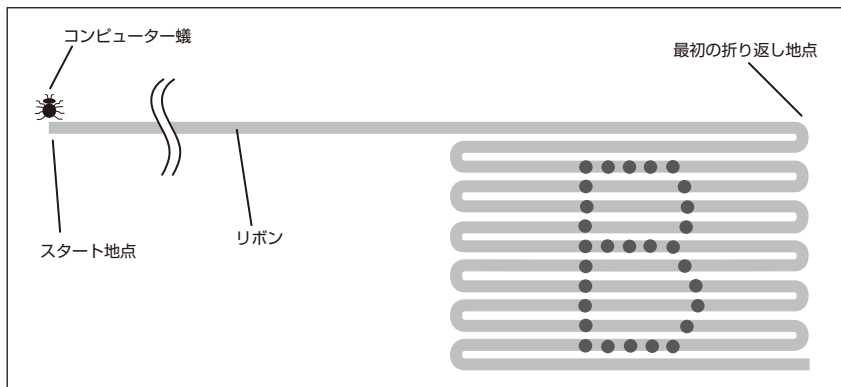
やがてしばらくすると、コンピューター蟻は元いたリボンの端へと戻り、そこで動きを止めました。

「なるほど、僕が『処理』を実行したときと同じように、最後に元の場所へと戻って次に鐘が鳴るのを待っているんだな」

アキレスはそう思いながら、コンピューター蟻とリボンを眺めました。

すると、アキレスは、リボンの上に置かれた石が、最初とは別の形になっていることに気が付きました。

「やあ、今度はアルファベットの『B』の形に、石が並べられているぞ」



アキレスはその石の並べられた形を眺めて、少し考えました。

「そうか、最初に僕が『処理』を実行したとき、『3. 鳴った鐘の音の数が1に等しかったら、30まで進む。それ以外だったら、次へ進む』という命令があったわけ。たぶんそれが、コンピューター蟻のいっていた『処理の分岐』なんだな。僕が『処理』を実行したときには、鳴った鐘の音の数が1に等しかったから30へと進んで、そうすると石を『A』の形に並べる『命令』が続いていたわけだ。さっきは鐘の音を2回鳴らしたから、きっとコンピューター蟻は次の『命令』へと進んで、その結果が『B』の形に石を並べることになったんだ」

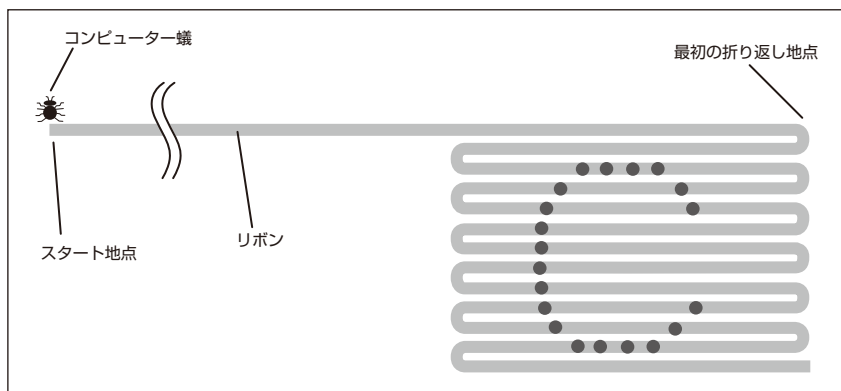


アキレスはそう思い、  
「待てよ。じゃあ3回以上鐘を鳴らしたときは、一体、どんな結果になるんだろう」

と言って、今度は3回、鐘を打ち鳴らしました。

「カーン、カーン、カーン」

すると、しばらくコンピューター蟻が動き回った後、リボンの上にはアルファベットの『C』の形に石が並べられました。



「そうか、何となくだけどわかってきたぞ。たぶんあのリボンには、打ち鳴らした鐘の数で、違う結果になるような『命令』が書かれているんだ。他の数ではどうなるか、試してみよう」

アキレスはそう言って、さまざまな回数、鐘を打ち鳴らしてみました。

するとその度に、コンピューター蟻はリボンの上を動き回り、元いたリボンの端へと戻ってくるときには決まって、リボンの折り返されている場所にアルファベットの形に石が置かれていました。

「やっぱりだ。あのリボンには、『打ち鳴らした鐘の数に対応するアルファベットを、リボンの上に描く』という内容が書かれているんだ。打ち鳴らした鐘の数が1回なら『A』が、2回なら『B』が、同じように10回なら『J』で26回なら『Z』が、リボンの上に描かれるんだ」

アキレスは実際に、2回から26回まで鐘を打ち鳴らした結果を確認して、そう結論付けました。

アキレスは、裏庭にある人間用のリボンがどんな動きをするのかわかったので、リボンの端で待ち続けているコンピューター蟻を迎えに行くことにしました。

「それにしてもコンピューター蟻には、随分とたくさん走り回らせてしまったな」

アキレスは、リボンの上を何往復もして、くたびれきっているであろうコンピューター蟻に、なんて声をかけようかと考えながら、山を下っていきましたが、そのときにふと、最初に屋敷の庭で見た「忙しい、忙しい」と言っていたコンピューター蟻を思い出しました。

「待てよ。それじゃあ、最初に庭で見たコンピューター蟻も、単にリボンに書かれている内容以上の意味を持つ、『何か』を行っていたんだらうか？あの屋敷にあった庭を同じように上から眺めたら、一体、どんなものが見えたんだらう？」