

§ ACM国際大学対抗 プログラミングコンテスト世界大会報告

筧 捷彦 ACM日本支部

丸山 宏 日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所

はじめに

3月15日に、ACMが主催する国際大学対抗プログラミングコンテスト (International Collegiate Programming Contest, 略称 ACM-ICPC) の世界大会 (World Finals) が、浦安市のヒルトン東京ベイホテルで開催された。優勝したのは、ポーランドのワルシャワ大学のチームであった。今年で31回目になるプログラミングコンテストの概要、また、世界大会が日本で開催されることになったいきさつ、開催の準備の苦労、大会当日の様子などを報告する。

ACM-ICPC

ACM-ICPCは、プログラミングを通じて、問題解決の技能やコンピューティングの技能を競う国際的な大学対抗のコンテストであり、そのルーツは、1970年までさかのぼる。この年、UPE Computer Science Honor SocietyがTexas A&M大学で開いたコンテストがその最初である。その後、予選・決勝の形をとるようになり、1977年にACMのComputer Science Conferenceで最初の世界大会(決勝大会)が開かれた。1989年からは、Texas州のBaylor大学にICPC本部を移し、参加校を米国以外にまで広げて現在ある姿の国際的なコンテストとなった。その後、急速に規模を拡大し、今回のコンテストでは、世界1,756大学の6,099チームが各地域別に開催される地区予選に参加した。そして、それぞれの予選で優秀な成績を収めた88チームが世界大会への出場

権を得た。日本からは、東京大学チーム(図-1)、京都大学チーム(図-2)、埼玉大学チーム(図-3)の3チームが出場権を得た。

チームは、同一大学に在学する学生3人で構成する。参加資格は、大学入学後5年以内をめぐとしていて、日本の制度でいえば、原則として学部生または修士1年生が対象となる。コンテストは、5時間で行われ、出題される8~10問のプログラミングの問題を何問解けるかを競う。解けた問題数が同じであれば、正解に達するまでにかかった経過時間の総計の短い方が上位となる。

コンテストでは、チームに1台だけPCが与えられる。使えるプログラミング言語はC/C++とJavaである。プログラムが完成したら、審判にLAN経由で提出する。審判は、あらかじめ用意されたテストデータを入力として与え、それを実行する。すべてのテストデータに対して正しい結果を出力すれば“正解”と判定する。結果が違っていれば“不正解”、所定の時間内に計算が終わらなければ“時間切れ”と判定する。判定結果は、LAN経由でチームに届けられる。不正解の場合には、入力として与えられたテストデータに対して間違った答えを出力したのか、あるいは、プログラムが不正に終了したのか、などの部分的な情報のみが返されるので、どこがどう間違っていたかチームには分からない(テストデータの内容も秘密のままである)。何度でもプログラムを提出できるが、正解に達した時点で余分な提出回数×20分がペナルティとして経過時間に上乘せされる。

問題は多岐にわたる。幾何、組合せ理論などの数学の素養を必要とする問題もあれば、動的計画法、グラフ探



図-1 東京大学チーム



図-2 京都大学チーム



図-3 埼玉大学チーム

素法などのアルゴリズムの知識・応用能力を問う問題もある。中には、複雑な仕様を整理してプログラムの形にまとめることを眼目とする問題もある。プログラムは、指定されたファイルからデータ(テキスト)を入力し標準出力に出力する形をとる。ユーザインタフェース、ネットワーク、イベント処理などのプログラミング技術は要求されない。ほとんどの問題は、100行程度のプログラムで解けるといわれている。したがって、問題の本質を見極め、アルゴリズムに落とし込むまでのひらめきが勝負を分ける。さらには、問題の英文を短時間に読み解く力や、3人でいかに分担するかというチームワーク力も勝負を左右する。

〈日本での ICPC 活動〉

日本のチームが何らかの形で ICPC に参加したのは、1997 年秋、台北で開催されたアジア地区予選が最初であった。ACM からの勧誘に応じて京都大学・早稲田大学から各 1 チームが参加し、このうち京大チームは 1998 年 2 月のアトランタでの世界大会にも出場した。

1998 年からは日本でもアジア地区予選を開催している。ACM 日本支部が中心となって、1998 年の早稲田大学を皮切りに国内の大学が持ち回りの形で地区予選を運営している。京都大学、筑波大学、はこだて未来大学、金沢工業大学、会津大学、愛媛大学、東京工科大学、慶應義塾大学と続いて、今秋には 10 回目を東京大学が担当する。

日本の大学で準備できる会場の大きさの都合から、日本開催のアジア地区予選は、参加チーム数が 35 程度で行われる。海外チームの参加枠を約 8 チーム分とっているため、参加できる日本チームの数は 30 弱である。この席をめぐる国内予選がインターネットを使って行われる。たとえば、2006 年の国内予選は、65 大学から 208 チームが参加する激戦であった。この中から成績順にチームが選抜される。同一大学からの選抜チーム数は 3 が上限で、下位になればこの上限がさらに小さくなるようにルールが定められている。

アジア地域では 10 を超える地区予選が開かれ、それぞれのチームは 2 つの地区予選にまで参加可能である。アジア地域からの世界大会出場チーム(大学)は、すべてのアジア地区予選の結果を総合して決まる仕組みになっている。したがって、日本で開くアジア地区予選にも外国チームが参加してくるし、アジア各国で開かれる地区予選に日本チームが参加することも可能である。

日本開催のアジア地区予選では、優勝をほとんど外国チームに奪われてきた。とはいえ、日本チームは、次点グループを占めているし、他国開催の地区予選で優勝するなどの活躍もあって、毎年 1 チーム、最近では 2 チ

ームが世界大会に進出している。そして、今回の世界大会へは 3 チームが進出するに至った。なお、世界大会での日本チームの戦績は、2000 年の京大チームの 7 位(銅賞)が最高である。

〈ICPC 世界大会 2007 の日本開催〉

世界大会はいろいろな地域で開催される。2004 年はプラハ、2005 年は上海、2006 年は米国テキサス州サンアントニオであった。2007 年の開催地について、ACM 日本支部に「日本はどうか」と打診があったのは昨年の 6 月のことである。ICPC 世界大会のスポンサーは単一企業が務めており、1997 年からは IBM がスポンサーである。このため、ACM 日本支部から日本にある IBM の東京基礎研究所に相談したところ、ちょうど 2007 年が東京基礎研究所の創立 25 周年にあたることもあり、良い機会であるので共同でホストを務めることになった。また、両者が協力して、コンピュータサイエンスを学ぶ日本の学生諸君に大いにエールを送りたい、という気持ちもあった。

開催時期が翌年の 3 月ということで、600 人規模の大会を運営できる場所が本当に見つかるのか、資金の手当はできるのか、などさまざまな不安もあったが、9 月終わり頃には無事 ICPC 本部とホテルの契約が完了した。大会そのものの運営は ICPC 本部が行うのだが、ホスト側スタッフにも、ビザ取得のサポート、参加者向け Web サイトの構築、パンフレットの編集や印刷、さまざまな機材の調達・搬入・搬出、空港やホテルでの案内を行うボランティアの確保、など非常に多くの仕事があり、大変な半年間となった。

世界大会の実況

チームが会場のホテルに集結したのは月曜日、3 月 12 日であった。火曜日の午前中は、スポンサーである IBM のセミナーがあり、IBM 基礎研究部門トップの Paul Horn 氏や、Ruby 開発者であるまつもとゆきひろ氏の講演があった。その午後は、隣接の東京ディズニーシーで楽しんだ。

水曜日の午前中に開会式が行われた。安西情報処理学会会長(当時)などの来賓の挨拶、各種表彰、アトラクションなどがあり、日本での ICPC 活動への貢献に対しても Founders Award の表彰があった。開会式の後、コンテストの予行演習が行われた。参加者に計算機環境に慣れてもらうこと、および、88 台の PC と審判システムが正しく動作することを確認することが目的である。参加者の PC にはコンテストで用いる専用ソフトウェアがインストールされており、完全隔離された審判室と

LANを介して動作する。そのLANは、外界のインターネットからは隔絶している。審判室への通路には24時間警備員を立てて、不正や不公平がないように万全を尽くしている。予行演習の後は、用意された日本文化を紹介するいくつかのセッションを覗いてみるもよし、翌日に備えて居室で休息するもよしで、参加者は思い思いのときを過ごした。

明けて木曜日、いよいよ本番である。朝8時15分頃にコンテストがスタートした。今年の問題は、AからJまで全部で10問である。選手は、開始のカウントダウンが終わると直ちに問題冊子を開いて解答作成に取りかかった。

観客席にも問題冊子が配られた。ざっと目を通すと、問題A、Bあたりが解きやすそうだ。とはいえ、コーチその他の観客から選手にそんな予断を伝えられてはコンテストにならない。当然、観客席は選手席とは通路を隔てた配置になっているし、使うトイレまでも別になっていて、観客は選手に接触しようがない。もちろん、選手が携帯電話などの電子機器を持ち込むことは禁止されて



図-4 会場風景

いる。

問題に正解すると、そのチームの机に解いた問題を示す色の風船が上げられる(図-4)。上がった風船を見ることで、どの問題をどのチームが解いたかが分かるようになっている。最初に上がった風船は、開始後わずか

ACM-ICPC OB/OGの会 2007年 冬合宿の報告

三廻部 大 東京工業大学 数理・計算科学専攻(冬合宿・世界大会時点) 現在は日本アイ・ピー・エム(株) 東京基礎研究所

ACM-ICPC OB/OGの会(ACM-ICPC Japanese Alumni Group, 略称:JAG)では、今回の世界大会に合わせて強化合宿を行った。この場を借りて、その報告をさせていただきたい。

◆OB/OGの会について

OB/OGの会は、これからICPCに出場する現役選手たちに良い結果を残してもらうために、ICPCを引退した学生が中心となって2004年に結成した団体である。国内予選、アジア地区予選、世界大会の各大会に向けて、年に2回の模擬練習会と2回の合宿を行っている。

◆今回の合宿について

本報告は、2007年2月23日から26日までの4日間、国立オリンピック記念青少年総合センターで行った冬合宿の報告である。この合宿には、世界大会に出場が決まっていた京都大学“echizen.com”、埼玉大学“Maximum_Tomato”、東京大学“kitsune-”の3チームに、アジア地区予選横浜大会で好成績をあげた東京大学と東京工業大学から3チームを加えた、合計6チームを招待した。さらに彼らのライバルとして海外から数チームをインターネットを介して遠隔で招待し、世界大会出場経験を持つ複数の大学の元選手を集めてOBチームを1チーム編成し、このチームもライバルとして参加した。

[1日目] この日の主な目的は会場への集合であるが、Thinking Contestという練習も行った。これは計算機を用いないで問題文を読むことで、問題を見てすぐプログラムを書き始めるのではなく、プログラムを書く前にじっくり検討することを意識するための練習である。

[2日目] 本番の時間に合わせ、朝9:00からThinking Contestの問題を使った練習コンテストを行った。その後、選手たち自身に解法の解説をしてもらう時間を設け、その補足として問題作成者による解説の時間を持った。夜には懇親会を行った。

[3日目] この日はできるだけ本番と同様の環境で練習コンテストを行った。すなわち、問題数10問、5時間、風船使用、である。この後、Free Solving Sessionとして、時間無制限、会話自由で練習コンテストの問題にリトライできる時間を設けた。

[4日目] 最終日は前日の問題の解説を行って解散した。

◆結果と今後の活動

合宿に参加した選手たちは14位タイ、26位タイ、44位タイと健闘したが、残念ながらメダルには手が届かなかった。OB/OGの会では今後も同様の合宿や練習会を行い、選手たちが各大会で良い成績を収められるよう、特に世界大会でメダルをその手にできるように一層の努力を重ねていく。現役選手の積極的な参加を期待したい。

13分、ワルシャワ大学チームの問題Bの風船だった。

ちょうど中間の2時間30分を過ぎた時点で、MITが5問目を解き、一気にトップへ出た。その後、中国の清華大学とワルシャワ大学が盛り返した。東大チームは、問題Fの正解に一番乗りを果たすなど健闘しているが、やさしいはずの問題Bにてこずっているようだった。最後の1時間を切ったあたりで、コンテストの結果を秘密にするために、ランキング表の自動表示が凍結された。この時点では、清華大学とワルシャワ大学が7問を解き、3位以下に2問の差をつけて、一騎打ちの様相を呈していた。最終的には、ワルシャワ大学が8問目を解いて今年のチャンピオンとなった。

日本のチームは、京都大学が5問正解で14位グループ、東京大学が4問正解で24位グループ、埼玉大学が3問正解で44位グループだった。結果を見れば分かると思うが、ロシア・東欧圏、また中国が非常に強い。こ

れにはさまざまな理由があるだろうが、国家レベルでICPCに対する強い取り組みがあるのではないかと推察する。

- 1位 ワルシャワ大学(ポーランド)
- 2位 清華大学(中国)
- 3位 サンクトペテルブルグ情報・機械・光学大学(ロシア)
- 4位 マサチューセッツ工科大学(アメリカ)
- 5位 ノボシビルスク国立大学(ロシア)
- 6位 サラトフ国立大学(ロシア)
- 7位 トゥエンテ大学(オランダ)
- 8位 上海交通大学(中国)
- 9位 ウォータールー大学(カナダ)
- 10位 モスクワ国立大学(ロシア)
- 11位 オークランド大学(ニュージーランド)
- 12位 カリフォルニア工科大学(アメリカ)

ICPC 参加記

京都大学チーム echizen.com 勝丸徳浩 吉田悠一 花岡俊行 京都大学 大学院情報学研究所

◆ 参加の経緯

私たちがICPCのことを知ったのは2005年の初夏、京都大学の湯浅教授の講義においてでした。当時、私たちは学部の3回生であり、単位的にも時間的にも余裕がありました。友人の勧めと、ICPCに出れば旅行ができる(2003年は会津、2004年は愛媛)という甘い言葉によりチームを結成する運びとなりました。チームのメンバは、友人の独断により決定されました。

初年度(2005年)、私たちは右も左も分からぬまま出場し、なんとか国内予選を突破しました。しかし、アジア大会(東京大会)ではまったく振るわず終わりました。そのとき、私たちはチーム練習の重要性に気づきました。

2006年大会はチーム練習の甲斐もあり、国内予選は危なげなく通過しました。アジア大会(横浜大会)では2位の成績を収め、世界大会出場を決めました。しかし、同じ問題数でチームが横並びであり、私たちは運を味方に引き入れた形となりました。

◆ 今回の準備

そして今回の世界大会に向けて、準備を進めてきました。ここでは、どのように練習してきたかということを紹介したいと思います。ICPCの大きな特徴としてチーム戦であるということが挙げられます。このため練習にも個人練習とチーム練習の2通りに分けて考えることができます。

まず個人練習ですが、これはただただ問題を解くのみです。基本的なアルゴリズムに慣れ親しみ、数学的な直感を養い、正確にコードを書く練習をひたすら続けます。練習にはオンラインジャッジと呼ばれるWeb上で練習できるサイトを利用しました。ここではICPC的な問題がたくさん公開されており、それに対するプログラムを作成しサブミットするとそれが正しいかどうかを判定してくれます。世界大会に出るチーム(のうち誰か)は少なくとも数百問、多いチームは千問以上解いているようです。

次にチーム練習ですが、これは個人練習の延長というよりは、まったく別種の練習になります。というのもICPCでは3人に対してコンピュータは1台しか与えられないので、コンピュータのスループットをいかに高めるかということが重要になり、それにはチーム内の連携を高めることが不可欠だからです。戦略はチームメンバの特性によりさまざまですが、echizenの場合は2人がペアプログラミングでコードを書き、もう1人が問題をすべて読むという風に分担しています。コンピュータを使う上で一番時間を食う可能性があるのはデバッグなのですが、そのデバッグの手間をできるだけ軽減するためにペアプログラミングを採用しています。echizenの場合はコードを書くのは完全に1人なのですが、世界レベルで見たときは多くのチームでは、コードは2人以上いて交代でプログラムを書いているようです。

去年はICPC OB/OG会が隔週で練習会を開催してくださっていたので、それにも毎回参加するようにしていました。これは日本中から7、8チームがオンラインで集まって特定の問題セットを解くというものです。自分たちだけの練習だとだれてしまいがちなのですが、他のチームと競い合うとなると集中しますし、また実戦を通じてチームとしてどう動くのが一番効率が良いかということ、色々試すことができ非常にためになりました。先輩諸氏の支援に感謝しています。

夕方に表彰式があり、その後は非常に楽しいショーが深夜まで続いて、参加している学生にとっては忘れられない1日となったことだろう。ホストチームのボランティアも、このショーに招待され、選手とともに最後の夕べを楽しんだ。

おわりに

今回の日本における世界大会成功の陰には、ACM日本支部、日本アイ・ビー・エム、情報処理学会や各団体の方々、それに数多くのボランティアの方々の大きな力があつた。皆様のご協力で厚く感謝申し上げます。

情報技術は、多くの産業におけるイノベーションの根幹として必要な技術であり、この技術に秀でることが今後の日本の繁栄を支えると言っても過言ではない。今回

のACM-ICPC世界大会を通して、少しでも多くの人にプログラミングの奥深さと素晴らしさを感じていただければ幸いです。

今年度は、7月6日(金)に国内予選、11月2日(金)から3日(土)にかけてアジア地区予選東京大会を開催する予定であり、多くの学生の参加を期待している。詳細は公式Webサイト(<http://www.logos.ic.u-tokyo.ac.jp/icpc2007/>)を参照されたい。

(平成19年7月2日受付)



◆ 大会の様子

世界大会の様子を、参加してみた立場から、日誌風にご紹介します。

第1日目	やってきました、世界大会。東京ディズニーリゾート内のホテルで開催です。初日はレジストレーション以外にはこれといってイベントはありませんでしたが、ホテルのロビーに集う世界中のチームを眺めるだけでいやでもテンションがあがります。夜はサイバーカフェに行ってみました。サイバーカフェは1、2、3日目の夜にホテルの一角で開かれているレクリエーションコーナーで、さまざまなお楽しみが用意されています。チェスやカードを楽しんでいる人、ダンスゲームで盛り上がっている人、インターネットを使用している人などがいました。
第2日目	午前中は、IBMのTech Trekと銘打って、別会場にてありがたいお話がありました。午後は、東京ディズニーシーでエクスカージョンです。大会のことも気にはなりますが、とりあえず楽しく遊びました。
第3日目	オープニングセレモニーが開催されました。大会本番と同じ会場にて行われたのですが、大きなホールにマシンがたくさん並んでいる様には圧倒されました。午後からは、日本文化体験イベントということで、主催者側の用意した複数の体験コースの中から好きなものを選んで体験することができました。僕は座禅を体験してきました。座禅は初めてで、いい経験でした。本番に向けて精神集中です。その後はチームでホテルの部屋に集まって、最後の練習をしたりしていました。
第4日目	いよいよコンテスト本番の日です。封筒に入った問題を前にすると、さすがに緊張が高まります。座席は大学のアルファベット順で、左にMassachusetts Institute of Technology、右にKTH - Royal Institute of Technologyと、毎年良い成績を残しているチームに挟まれた、めぐまれた席順でした。スタートの合図で、全チーム一斉に解き始めます。簡単そうな問題から解いていくのですが、途中何度かつまる場面もありました。そんな中、早いペースでどんどん正解を出していくMITチーム、正解するたびにチーム全員で「Yes!」とうれしそうに叫ぶKTHチームが印象に残っています。結果として、全部で5つの問題を解くことができました。6問目にも手をつけていたのですが、詰めが甘く、正解まで持っていくことはできませんでした。 大会中は他のチームの成績を会場前のディスプレイやWebサイトで見ることができるのですが、大会終了が近づくとも見えなくなってしまいます。結果の発表は食事を兼ねた休憩の後となっています。この休憩時間の間に、いろいろな海外のチームのメンバに話しかけ、大会の出来や感想、普段の練習の様子などを話題に盛り上がったりもしました。 いよいよ結果発表です。12位までが入賞で、メダル獲得なのですが、この入賞には6問解くことが必要だったようです。1位が8問、2位が7問、3位から13位までは6問で、僕たちのチームは14位タイでした(13位以下は解いた問題数のみによって順位がつけられる)。あと1問でメダル圏内に食い込めたかと思うと非常に悔しい結果となりました。結果発表の後はセレブレーション。大道芸などのショーを楽しみました。 これで公式のイベントは終わりなのですが、この後もいろいろなチームで集まって遅くまで話をしていました。
第5日目	大会も終わり、後は帰るだけです。大会は全部で5日間にわたる、非常に内容の濃いものでした。なにより楽しかったです。

ICPC 世界大会 2007 の問題

石畑 清 明治大学

プログラミングコンテスト世界大会の問題そのものに興味を覚えた読者もいると思う。このコラムでは、今回の世界大会でどんな内容の問題が出たか、各問題を解いたチームがどの程度あったかなどについて簡単に報告する。

◆ 問題セットの難易度

世界大会では 10 問出題されるのが通例である。今回も 10 問だった。各問題のタイトルと解答数は表-1 のとおりである。行末の 2 つの数のうち、左が正解数（正解チーム数）、右は正解と不正解を合わせた解答提出の回数である。参加したチームの数は 88 だった。

この数字を見て分かるとおり、今回はやさしい問題と難しい問題がはっきり分かれていた。A, B, C, D, F, G の 6 問が比較的やさしく、E, H, I, J の 4 問が難しかったようだ。この結果は、筆者がそれぞれの問題を読んで感じた難易度と一致している。

過去数回の世界大会に比べれば、問題全体のレベルはやさしめに設定されていた。下位チームでも 2～3 問は解けるレベルを目指していたように見える。1 チーム平均の正解数は 3.55 である。

正解した問題数別のチーム数は表-2 のとおりである。この結果はほぼ理想的だといえる。プログラミングコンテストの出題者は、次のようなことを目標に問題を作る。

- どのチームも最低 1 問は解く。
- 全問正解のチームはない。
- 1 位と 2 位の間に正解数で差がある。
- どの問題も 1 チーム以上が正解する。

実際には、最後の目標の実現は不可能に近い。これを除けば、目標はほぼ達成されている。上位チームが最後までデッドヒートを続けるように、また下位チームにもそれなりの達成感が得られるように、上手に問題のレベルを設定していることが分かる。

世界大会では 12 位までが表彰対象になる。今回は 13 位と 14 位の間に大きな成績の切れ目があったので、特別に 13 位まで表彰対象になった。問題との対応で見ると、やさしい 6 問をすべて解けば入賞だったことが分かる。さらに、これに加えて難しい問題を 1～2 問解いたチームが優勝、準優勝である。

国内の強豪チームも、実力を発揮すれば難問以外の 6 問をすべて解くことが十分に可能だったと思われるが、残念ながら今一步届かなかった。過去何回かの世界大会でも似たような結果に終わったことが多い。その差はわずかなので、来年以降入賞の可能性は十分にあると思われる。ただし、優勝、準優勝のレベルにはまだ差がありそうである。

◆ 各問題の簡単な紹介

各問題の概略を簡単に紹介する。このうち、問題 A と E については、次の節でもう少し詳しい解説を行う。

問題 A は、両親と子供合わせて 3 人のうち 2 人の血液型が与えられたときに、残る 1 人の血液型として可能なものの集合を求める問題である。組合せの数が少ないので、特に難しいアルゴリズムは要らない。仕様どおりに坦々とプログラムを書くだけである。しかし下手をすると、プログラムが複雑になって訳が分からなくなる恐れがありそうだ。いかに仕様を整理して、すっきりしたプログラムにまとめるかを問う問題である。

問題 B は、荷物の搬入順序が決められているときに、所定の搬出を行うのに必要な一時的な置き場所の数を最少にする問題である。それぞれの置き場所はスタックになっているので、搬出順序に矛盾しないように積み重ねていかなければならない。解法はごく単純である。搬出順序に矛盾しない置き場所の中から、現時点で最も得な場所を選べばよい。先読みとか探索とかは不要である。この事実を見破ることができれば、プログラミングはいとも簡単である。

問題 C では、斜面上に置いてある向きのある折れ線全体を回転させることを考える。どの線分（折れ線の要素それぞれ）も下向きにならないような回転角度を求めることを要求している。幾何の問題は一般に場合分けが複雑になって難しいことが多いのだが、その中ではやさしい部類の問題である。

問題 D は、多角形の中に含まれる格子点の個数を求める問題である。格子点の個数に関する幾何の定理を適用すれば解けるのだが、プログラミングには注意が必要とされる。整数のオーバーフローを避ける、計算時間が長くなりすぎないようにす

A	Consanguine Calculations	81	246
B	Containers	77	145
C	Grand Prix	35	155
D	Jacquard Circuits	26	190
E	Collecting Luggage	2	17
F	Marble Game	28	110
G	Network	61	265
H	Raising the Roof	0	4
I	Water Tanks	2	30
J	Tunnels	0	80
	計	312	1242

表-1 問題タイトルと正解数

8 問	1 チーム(優勝)
7 問	1 チーム(2 位)
6 問	11 チーム(3～13 位)
5 問	12 チーム(14 位グループ)
4 問	18 チーム(26 位グループ)
3 問	21 チーム(44 位グループ)
2 問	15 チーム
1 問	6 チーム
0 問	3 チーム

表-2 正解数別のチーム数

る、などの点がポイントである。コーディング技術の問題と言ってよいかもしれない。

問題 E は、空港の荷物コンベアの上を動く荷物を最短時間で取り上げるにはどうしたらよいかを問う問題である。幾何の難問である。まず、起こり得る状態(図形の形状)を正確に把握して、定式化しなければならない。その上で、代数方程式を解いて各点まで歩く時間の最小値を求める必要がある。

問題 F は、正方形のボードの上で行う簡単なゲーム(パズル)で目標に到達するまでの最短手数を求める問題である。ゲームは、何箇所か穴のあいたボードの上で、ボード全体を傾けることによって複数のボールをそれぞれ目標の穴に落とすものである。典型的な組合せ探索の問題である。探索の問題としては、状態数が少ないので難しいものではない。複雑なルールを正しくプログラムに書き下すことができるかどうかのポイントになる。

問題 G は、ネットワーク上のパケット群をルールに矛盾しないような配送順序で送るために必要とされるバッファ領域(後回しにするパケットを一時的に記録するためのもの)の大きさを最小化する問題である。可能な配送順序が $5! = 120$ 通りしかないため、これらの順序をすべて調べればよい。問題 B と同様、やさしい解法で解けることを見抜ければ、プログラミングは簡単である。

問題 H は、複数の三角形の板で覆われた屋根で、上から見える板の面積の総和を求める問題である。それぞれの板の 3 つの隅の位置が 3 次元座標で与えられる。ある板が別の板に重なっている場合は、隠されている部分の面積を勘定に入れないようにしなければならない。多角形の重なりを正確に把握して、図形を表すデータ構造として表現する必要があるだろう。また、計算量が問題になる可能性もあるので、無駄な計算をしないように注意しなければならない。プログラムとして実現すべき要素 1 つ 1 つはほぼ明らかなのだが、実際にプログラムの完成に到達するのは困難だろう。難問である。

問題 I は、水タンクのシミュレーションである。複数のタンクが水平の連結管でつながれているシステムがある。左端のタンクは上端があいているが、それ以外のものは上下とも閉鎖されて、空気で満たされている。このような設定で、左端のタンクに水を注いだとき、最終的な水面の高さがどうなるかを求める問題である。重力、空気圧、パスカルの法則などの物理法則に従ったシミュレーションを行うことが要求される。いくつかの場合に分けて水や空気の動きを定式化し、その結果をプログラムで表現することが必要である。

問題 J は、トンネルで結ばれたいくつかの部屋からなる基地の中にスパイを閉じ込める状況を想定している。トンネルのうちいくつかを破壊してスパイが逃げられないようにするのだが、破壊するトンネルの数は最少にしなければならない。グラフアルゴリズムの問題と理解することができる。スパイが動かないのであれば有名なアルゴリズムで解けるのだが、動き回るので問題が複雑になっている。問題の定式化が難しいし、アルゴリズムも難しい。今回の問題セットの中で最も難しい問題だと思われる。解答提出数はかなり多かったのだが、結局この問題を解いたチームはなかった。

<問題 A >

ABO 式の血液型と Rh 式の血液型の組合せを考える。たとえば、A+ とか AB- とかいったものである。両親と子供合わせて 3 人のうち 2 人の血液型が与えられている。入力は、たとえば次のようになる。

```
O+   ?   O-
AB-  AB+  ?
AB+  ?   O+
```

左 2 つが両親、右端が子供の血液型である。不明の 1 人のところは疑問符で表現されている。不明の 1 人が持つ可能性のある血液型を数え上げて、次のような形式で出力することが問題の要求である。

```
O+  {A-, A+, B-, B+, O-, O+} O-
AB- AB+  {A+, A-, B+, B-, AB+, AB-}
AB+ IMPOSSIBLE O+
```

血液型は遺伝子で決まる。ABO 型については A、B、O の 3 種類の遺伝子があり、各人はこの遺伝子を 2 つずつ持っている。遺伝子の組合せが AA または AO であれば A 型、BB または BO であれば B 型、AB なら AB 型、OO なら O 型である。子供は両親のそれぞれから遺伝子を 1 つずつ引き継ぐ。Rh 式の血液型に関しても同様の規則がある。

プログラムの方針はいくつか考えられるが、いずれにしる強引に場合を尽くすだけのことである。いかにプログラムをすっきり書かがポイントになるだろう。場当たり的にプログラムを書いたのでは、場合分けの多い複雑なプログラムになって手に負えなくなるのがおちである。

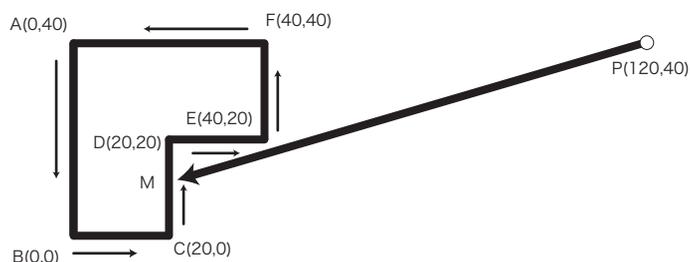
結局、この問題で要求しているのは、複雑な仕様を上手に整理してプログラムにまとめる能力である。プログラミングコンテストの問題はアルゴリズムの問題ばかりだとよく誤解されるのだが、その反例の 1 つがこの問題である。やさしい問題ではあるが、プログラミングのセンスの良し悪しを問う良問と言ってよからうと思う。

<問題 E >

空港の荷物受け取り場の問題である。荷物を乗せるコンベアベルトがある。これの形は、上から見ると多角形になっている。ベルトの上を荷物が一定の速さで回る。一方、人がベルトの外のある位置に立っている。この人は、荷物がベルトの上に乗っ

た瞬間に動き出して、やはり一定の速さ（荷物よりは速い）で歩く。もちろん、歩くコースは適当に選ぶことができる。ただし、当然ながら、ベルトにぶつかるといったようなコースでは歩けない。人と荷物が同じ時刻に同じ場所があれば、人は荷物を取り上げることができる。荷物を受け取るまでの時間の最小値を求めることが問題である。

たとえば、問題には次のような図が載っている。この例（荷物と人の速さの比は 7:10、荷物は A から回り始める）では、点 M まで直進して、そこで荷物を受け取るのが最善である。



解法を考えてみよう。最終的には、人がベルトの任意の位置に到達するまでの時間を求める（求められるようにする）必要があるが、その準備として多角形の凸頂点それぞれに到達する時間を求めるとよいだろう。人の出発点と多角形の凸頂点それぞれを頂点とするグラフを作り、このグラフの上で最短経路問題を解けばよい。

凸頂点までの時間が求まったら、ベルト上の任意の点までの時間は、2 次式の平方根の形の関数で表すことができる。関数の引数は、ベルトに沿った距離である。これが求まれば、原理的には荷物受け取りの最小時間も求まる。しかし、実際のプログラムではもう一山越える必要がありそうだ。ベルト上の点に行くとき、どの凸頂点を経由するのが最善かが途中で変わる可能性がある。複数の関数の最小値を取り扱うことが必要になるが、これを関数の形で正確に表現することは難しい。平方根同士での比較になるので、4 次方程式を解かないと大小の正確な判定ができないからである。

ここで、方針を転換する。最終的な答えは荷物がベルト上の点に到達する時間でもあることに注目する。ベルト上の各点に人間が到達する時間を正確に求めても、そこに荷物が回ってこなければ、無駄に待つことになって意味がない。そこで、ベルト上の点への到達時間を量子化することを考える。具体的には、ベルト上の各点で最も早く荷物を受け取れるのは荷物の何回目の周回のときであるかを求める。これもベルト上の距離に関する関数であるが、値が整数に限られるので、区間ごとの場合分けとして表現できる。この表現形態ならば、経路する凸頂点ごとに別々に求めたものを 1 つにまとめることが容易にできる。最終的な問題の答えも、この表現があれば簡単に求められる。

結局、この問題には幾何、グラフ、代数方程式の求解などの要素が含まれていることが分かった。短い時間で上のような分析を行った上でプログラムとして実現することは難事だと思われる。優勝チームともう 1 チーム（2 位チームではない）しか解けなかったのも無理はない。難問である。

追記：校正の際に、この稿の別コラムを担当している京都大学チームから、もっと簡単な解法があるとの指摘を受けた。時間を決めれば、その時間で荷物を受け取れるかどうかを判定できる。荷物の場所が決まるので、そこに時間内に到達できるかどうかの判定だけである。この判定をベースとして、時間に関する 2 分法を使えば、最小の時間を求めることができる。実際にこの問題を解いた 2 チームもこの解法を使ったようだ。



箕 捷彦(正会員)
kakehi@waseda.jp

1945 年生。早稲田大学基幹理工学部情報理工学教授。ACM 日本支部副支部長、ICPC board chair。本会フェロー、情報処理教育委員会委員長。プログラミングの方法・言語・記述・分析などに興味を持つ。

丸山 宏(正会員)
maruyama@jp.ibm.com

日本アイ・ビー・エム（株）東京基礎研究所所長、執行役員、IBM デイスティングイシュー・エンジニア、工学博士。専門分野は、自然言語処理、ロジックプログラミング、情報セキュリティ、XML、Web サービス。