

カーネギー・メロン大学におけるロボット研究

工学部 情報工学科 大 沢 裕

Yutaka OHSAWA

筆者は、1990年7月から1年3カ月間、カーネギー・メロン大学（以下CMUと略す）ロボット研究所でコンピュータビジョンに関する在外研究を行う機会を得た。本稿では、その間の経験を元にCMUにおける教育と研究について紹介する。

CMUとその周辺

CMUは、米国ペンシルバニア州のピッツバーグ市にある、本誌の読者にはなじみの薄い大学と思われるが、工学分野では計算機科学と都市工学に特徴をもつ大学である。情報科学分野は1つの学部(School of Computer Science)になっており、筆者が滞在し始めてすぐ（1990年）に、その設立25周年の記念行事が行われていた。

ピッツバーグは昔鉄鋼業で栄えた町であり、繁栄の反面で、一時は昼でも街灯が灯され、車もライトをつけて走るような公害の町でもあったのである。その後、鉄鋼業が不況になるとともに、全米で模範となる公害法が施行され、環境の回復が図られた。現在はハイテク産業の町への脱皮が進んでおり、ダウンタウンの再開発も急ピッチで進められ、美しい町に変貌している。しかし当時の空気汚染の面影が、教会など古い建物の外壁を真っ黒にさせて残されており、当時の公害の凄さを計り知ることができる。また、かつて鉄鋼の町であったという名残は、Iron Cityという、地のビールの名前にも残されている。

ピッツバーグ空港はダウンタウンから20マイル程西方にある。タクシーで山の中のハイウェイを暫く走り、山また山の景色に不安になりだすところトンネルを抜けると、前触れもなくパッとダウンタ

ウンの高層建築が目飛び込んでくる。ピッツバーグのダウンタウンはAlleghenyとMonongahelaという名の2本の川が合流する三角州に位置しており、その合流点からミシシッピ川の上流となるオハイオ川が始まっている。CMUはそのダウンタウンから更に西へ10マイル程度走った所に位置している。一帯はオークランドと呼ばれ、CMUとピッツバーグ大学を中心とする大学の町である。このピッツバーグ大学のほうは臓器移植や小児科で有名な医学部を持ち、(後に気づいたのだが)その関連で日本のテレビにもしばしば登場している。ピッツバーグ大学には日本分校もあるとのことで、夏休みの時期になると、日本人学生の姿も多く見かけた。

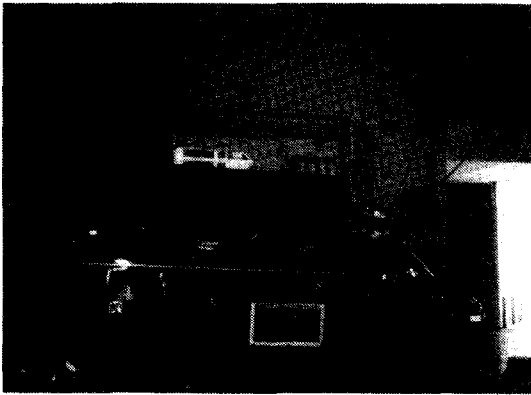
ロボット研究所でのプロジェクト

筆者が、CMUで所属していたのは、計算機科学部の中のロボット研究所という組織である。元京大助教授の金出武雄教授が研究を率いており、日本からの研究者の訪問も非常に多い。ある会社から派遣の日本人研究者は、日本にいるよりはるかに多数の日本の有名人に会えると喜んでた。

ここでは、ロボット関連の様々な研究が行われているが、以下ではこのうち、自律走行車、火星探査ロボット、宇宙ステーションを建築するためのロボット、の3つを紹介する。

自律走行車(NABLAB)

写真1はCMUで開発中の自律走行車、つまり人間の運転手を必要とせず自動走行する車、NABLABの概観である。この研究の目的は、綿密



な地図情報を基に、市街地で車の自動走行をさせようというものである。昨年、筆者の帰国前の到達点では、デモンストレーションのため、1人の研究者の自宅から、数マイル離れた他の研究者の自宅までビールを届けるという実験が行われていた。

自律走行車の研究は日本でも自動車メーカーを中心に活発に行われており、ドイツでもアウトバーンを時速100kmの速度で走らせたという報告もあるが、多くの事例は高速道路や、隔離されたテストコース等、理想化された環境を想定している。一方、NABLABが目標にしているのは、横断歩道もあり、対向車もあり、また交差点もあるというような一般道路上での走行である。従って障害の多さから、難易度も高くなり、時速20マイル程度の低速での走行実験が行われている段階にある。

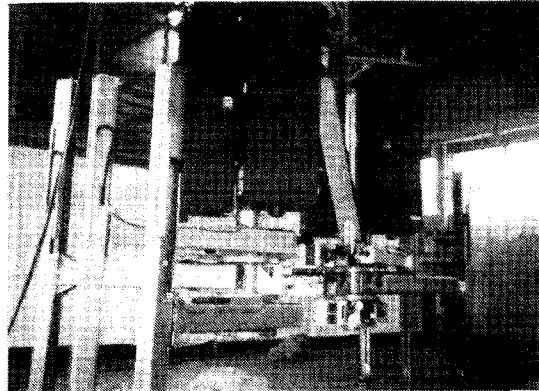
自律走行の為のセンサは、車の前面上部に取り付けられた画像センサ(Range Finder)と、前方及び側方に向けられた超音波センサである。車の荷台部分には数台のワークステーションと、車の走行部やセンサのためのコントローラの入ったラックがぎっしり積まれており、そこには研究者が2~3人乗り込んで走行実験が行われる。また、咄嗟の事態に対応するため、自動走行時には(も)運転席に必ず1人座っている。

滞在中、筆者も試乗する機会を得たが、ブレーキやアクセルが少し急な感じがする以外、違和感を感じない運転であった。もっとも、運転席にド

ライバーが座っていて、緊急事態に対応してくれるであろうという、期待の下ではあったが。

火星探査ロボット(Ambler)

NASAの火星探査衛星の計画に基づいて行われているプロジェクトである。外観は写真2のような形をしており、6本の足を1本ずつ移動させて



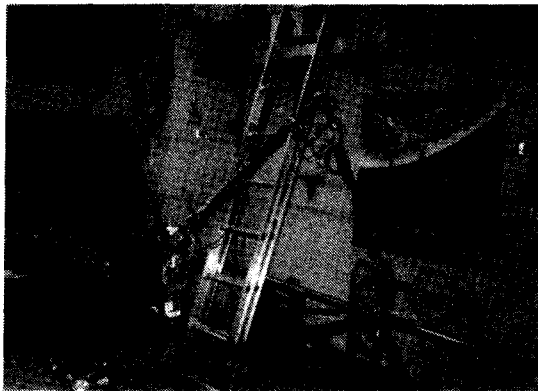
前進する。目的は、(こういう言い方ではみもふたもないが) ロボットが火星の到着位置からその周辺を歩き回り、火星の石をひろってくることである。それを行うため火星表面をぶらぶらと歩き回ることから、Amblerと名付けられている。同じ目的で、米国の別の研究機関(JPL)では、キャタピラタイプの車が、研究されているが、アンブラは足を伸縮させることができ、岩の切り立った部分でも乗り越えることができるという特徴を持っている。その特徴を別にしても、巨額な予算をつぎ込む、宇宙プロジェクトであることを考えると、キャタピラタイプの普通の形より、Amblerの様な非日常的な形をしている方が、予算獲得の上で説得力がありそうな気がした。

ロボットに火星上を歩き回り、石を拾うという機能を持たせるだけでも様々な研究と技術開発が必要となる。まず6本の足を制御して、歩行しなければならない。そのために、Kinematics(運動学)の研究グループがいる。障害物を感知したり、採集する石を見つけるためにVisionの研究も必須である。細かな所では、石を採集するため

のグリップの研究も必要になる。しろうとで詳しくは分からないが、温度差の激しい環境では、使用する潤滑油などにも研究の必要があるのだろうと思う。また、Vision分野でも歩行のための目と、石の採集の為の目とは異なったものを用意するのが都合がよく、各々の要求に合ったシステムが求められる。歩行の為の目は前方の足場を調べ、足を着地させる位置や足の縮め方の計画の為の情報を知るためのものであり、石を拾い上げるための目はグリップの角度や、開き具合を制御するためのものである。対象物の大きさの違いや目的の違いから、各々に適した機構を準備した方が精度や安定性が増す。このような広範な分野にわたる種々の研究が50人規模の研究者、大学院学生のグループで行われている。

宇宙作業ロボット

宇宙空間で宇宙ステーションを建設するためのロボットの研究である。この研究には、日本の建設会社もスポンサーになっている。筆者の潜在中に行われていた研究は、写真3の様なトラスの接点を足場にして、作業ロボットをどのように移動さ



せるかというものであった。トラスの接点は、幾つも穴の空いた球状になっている。一方作業ロボットの足は、単純には2本の棒を開く角度を自由に変えられるように接続した構造になっており、その棒の先に、トラスの接点の穴に差し込んで足を固定させるための突起がついている。移動は、

片方の足を固定した状態で、他方を解除し、次に固定させようとするノード方向に移動し、穴を探しそこに突起を固定するという手順で行われる。無重力状態での足の移動制御や、ノードでの穴の探査等に焦点を当てた研究が行われていた。

このほか数人規模での研究が多数、活発に行われている。例えば、トロイカロボットと呼ばれる3本腕のロボットによる協調作業の研究、自律飛行のヘリコプタ、光可塑性の樹脂を用いた、機械部品のラビッドプロトタイプングの研究、Learning from observation との標語で行われている、機械組み立て方法の自動学習の研究等がある。

CMUでの研究生活

CMU内にはHunt Libraryという総合図書館を筆頭に、幾つかの図書館があるが、最もよく利用したのは科学技術図書館であった。ここには国際会議のプロシーディングや雑誌のバックナンバーが完備しており、大いに助かった。また日本では、ついに捜し出せなかった学会の論文集も発見でき感激もした。この図書館では館外貸出を希望しない限り、利用の際にIDの提示を求められない。外部の人も自由に利用でき、日本からのお客さんを案内すると喜ばれた。コピーカードを購入するか、コインを用意すれば、コピー機も自由に利用することもできる。もう一つしばしば利用したのは、隣のピッツバーグ大学のHillman Libraryであったが、こちらには東洋関係のコレクションも多く、日本の新聞や雑誌を読むことができた。今まで出張のおり外国の大学を訪ねても、図書館をこのように自由に利用できるということに考えが及ばなかったが、これが米国の大学の図書館で一般的にとられている方式であるとする、短期出張の機会にでも利用することが可能であることを発見した。次の出張のおりにでも、他の大学図書館の利用を試みてみようと思う。

計算機関係の研究では、ハードウェアやソフトウェアのマニュアルが必須であり、常に手近なところに置き、参照しなければならない。CMUにはマニュアルを伝票1枚で受け取ることができる部屋

(マニアルーム)があり、大いに時間と労力を軽減することができた。日本では、この場合原版を借りて来てコピーを取るか(この方法は、ものによっては違法になるが)、計算機上のファイルをプリントアウトしなければならない(これには結構時間がかかる)。同様に各学科で出されているテクニカルレポートも印刷され、製本されたものが棚に並べられており、こちらもサイン一つで自由に受け取ることができた。

もう一つ、大変重宝したのは電子メールである。最近、日本の大学でも電子メール(e-mail)が普及して来ているが、使われ方は学外や学科間との連絡に重点がおかれているように思う。筆者は、研究室の学生との連絡などは、一々文章を書くよりは、電話を使ったり直接出向いた方が容易と考えていた。しかし、CMUでは電子メールの方が好んで使われている様子であり、それに慣れるに従って便利さを実感した。極端な例では、同じオフィスの仲間同士でも電子メールで連絡を行う。筆者と同室の人間がしばしば実験室に出向いていて部屋を空けるのだが、その奥さんから1日1回は電話がかかってくる。出向いている可能性のある実験室は複数あり、どこに行っているのか分からない。最初はそのたび伝言をメモで残していたのだが、そのうち「電子メールで電話があったことを連絡してくれ」と言う。確かに電子メールなら、計算機を使ってさえいけば、どこにいても直ぐに伝言が伝わるわけである。

また、英語の不自由なものにとっては、電話より電子メールの方がはるかに心理負担が軽い、アポイントメントを取るとき、人や建物の名前や時間等は、目で確認できる方が安心できる。文章を書くにしても、手紙のような堅苦しさが不要なのがよい。また大部分の人は1日1回以上電子メールを読む習慣があり、更に相手を読んだかどうか確認する手段もある。従って、特別急を要する用件でない限り送ってさえおけば、何時かは読んでくれるという安心感もある。考え様によっては、無理やり舞い込む電話よりも、相手の事情を考慮した通信手段と言える。更によいことには、(まじ

めな方の怒りを買うかもしれないが)依頼の文書に怠慢を決め込んだときにも言い訳手段やその余地も残してくれているところが誠に都合がよい。誤操作などでつい見逃してしまうことも決してあり得ないことでは無いから。

I had an opportunity to study about computer vision at the Robotics Institute, Carnegie - Mellon University, from July 1990 to October 1991. In this essay, I will describe about some research projects at the Robotics Institute, and the research environment in Carnegie-Mellon University.