

## アメリカ大気研究センター (NCAR) を訪問して

古川 武彦\*

## 1. はじめに

科学技術庁の長期在外研究員派遣制度によりアメリカのコロラド州ボルダにある NCAR (National Center for Atmospheric Research) に1年間 (1976年2月まで) 滞在する機会に恵まれた。この報告は「気象研究所ニュース」に掲載されたものに、その後の NCAR の動静などを加えて稿を改めたものである。著者は、アメリカにおける大気物理研究のプロダクトが、政府出資の大学社会ではどのような風土の下に生まれているのかという点に興味を持った。時あたかも、気象研究所の歴史を画すべき筑波移転計画が実施されつつある。NCAR は、ちょうど、わが国においてもその設置が囑望されている大気物理研究所のひとつのスタイルとも見られる。以下に述べる風土の相違を越えてなお他山の石とすべき点が少なくないと思われる。NCAR の沿革、立地環境、組織、施設、予算、運営、研究動向などを、若干の印象や感想と共に述べてい。

## 2. 沿革

NCAR は1960年に UCAR (University Cooperation for Atmospheric Research) によって設立され、Walter Orr Roberts が初代の所長に選ばれた。NCAR を運営している UCAR は1950年代中期にその萌芽を持つ。1958年になって National Academy of Sciences は、National Science Foundation (NSF) による資金のもとに、大気科学部門を持つ各大学の共同管理による中央研究所をつくるよう勧告した。この勧告が14の大学による第1次の UCAR の結成となった。1959年3月に東部のデラウェアで UCAR が正式に発足し、翌年西部のコロラドに NCAR を生んだ。以後数年間に組織の急速な整備が図られた。CDC 3600型電子計算機の導入、テキサスでの研究用バルーンの運用開始があり、また研究部門としては大気力学 (特に大循環理論)、降水過程、大気化学、大気電気に関連する部門が組織された。

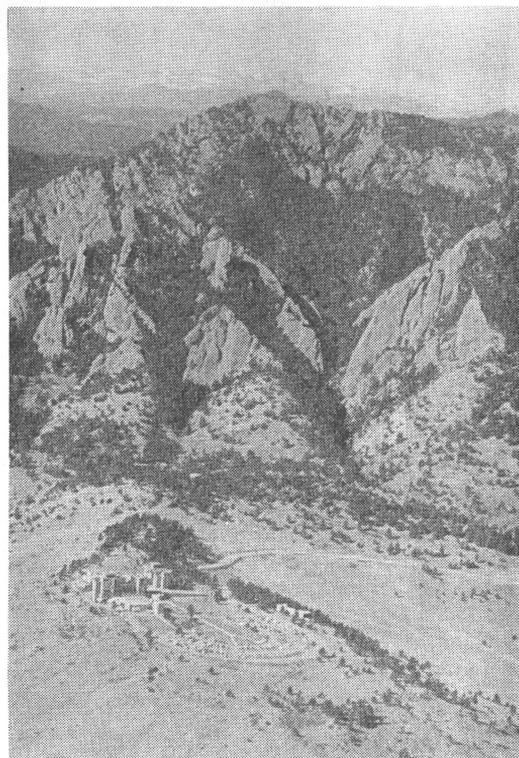


写真1 NCARの全景。すぐ後の山肌がフラタイロンズ遠くロッキー山脈が望まれる (NCAR提供)。

1964年には大学の気象関連分野からの卒業生や大学のスタッフの研究交流の場として Advanced Study Program (ASP) ができた。飛行機が導入されて航空機部門、フィールド実験研究を支援するための部門が相次いで発足した。これらは電子計算機部門と共に、現在も NCAR における強力な共同利用施設として機能している。

現在の NCAR の本館は3年をかけて1966年に完工しほとんどがそこに移転した。計算機は CDC 6600型に更新され、1969年には CDC 7600 が付加された。この間 NCAR の母体である UCAR 参加校は増えつづけ1970

\* T. Furukawa, 気象研究所台風研究部。

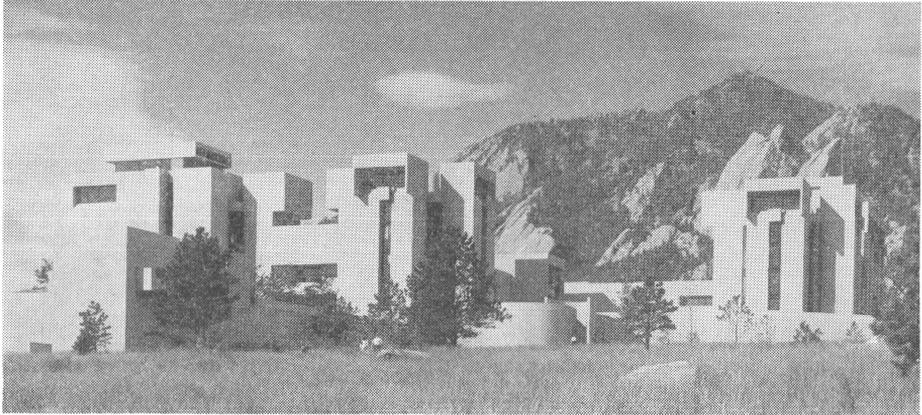


写真 2 NCAR 本館。右側が北塔 (NCAR 提供)。

年にはカナダの2大学を含めて37大学となった。現在は44機関に達している。

NCAR の使命は、(1) 大学という研究社会に奉仕しながら、(2) 社会にとって重要である大気に関する研究、および大気科学の発展にとって重要ではあるが個々の大学レベルでは実施できないような大がかりで、かつ連携が必要な研究を推進することにある。

### 3. 立地環境

NCAR のあるボルダはロッキー山脈の東麓にある。西海岸とは時差1時間で山岳標準時 (MST) が適用されている。秋田と同じ緯度である。NCAR のパンフは言う。「グレートプレーンズの終りとロッキー山脈の始まりを指標している巨大な隆起岩盤群のひとつフラタイロズーの足下に位置している。」NCAR が Mesa ラボラトリと通称されるのは、フラタイロズーの形成後、溶出したお椀を伏せたような mesa (平頂山) の上にあることに由来している。テーブル・メサ通りはNCAR ラボのあるテーブル・マウンテンへ通じるゆるい坂道である。

本館は科学の殿堂と象徴され NCAR 自慢のものである。自然との調和が意図されている。独特の塔状構造、赤褐色のコンクリート素材は上述のやはり赤褐色のフラタイロズー、緑の松林—その中に見え隠れする野生の鹿の群—を十二分に意識している。

研究室は2つの5階建の塔の中に収められ両塔は地下1階、地上1、2階で結ばれている。受付、カフェテリア、主セミナー室、人事関係が1階に、電子計算機、印刷工場、グラフィック、写真、物品関係が地下1階にある。地下2階にはメンテナンス、郵便、サービス、実験

関係が納められている。北棟からは、ちょっとした画廊まがいの連絡路を介して、図書室やいくつかの小会議場に自然に行ける。

ボルダの市街に面した側はガラスを少なくし、逆に山側は多い。しかし中に入ってみると街並や、東に広がるロッキーの広大な裾野が種々の方角から望まれる。すべてが見えないのもまた楽しいものである。エレベータはあるけれども、急勾配の階段を足早にかけるとスタッフ。同一階には女性または男性用だけしかないトイレ。4階にいた私は毎日何度か非常階段を往復した。NCAR の設計には健康管理も考慮されているなど苦笑しながら。たしかに東西南北が快適な部屋としてデザインされている。ちなみに本館の設計はケンブリッジのケネディ記念図書館や、ハワイの東西センターを手がけた、中国生れの Pei 氏である。NCAR の模型はこのたびの建国200年祭にも出品されたほどである。

コロラドの自然はすばらしい。四季を通じての非常に低い湿度、清澄な空気、抜けるような碧空、移り変わる高原の色合い。そして何よりも大自然がそこにある。夏の超巨大な積乱雲群、夜通し窓を鳴らす冬の強い風あらし、積もってはすぐに融けてしまう雪など……は NCAR 大聖堂の人々に常に自然のインパクトを与え、かつ彼等の楽しみにさえている。車通勤を前提にして設計されているけれども、上半身裸でマラソンで上って行く人、汗をふき出して10段ギアを漕いで上る人、丘のふもとまできて、そこからリュックを背負って丘を登る人、NCAR はそんな所に建っている。

ボルダは谷間にひらかれた人口約7万人の閑静な学術都市である。100年の歴史を持つコロラド大学が街の

中心にあり、赤タイル外装 (天然石) のルネッサンス式建築のキャンパスは市のシンボルでもある。町全体が海拔 1,600m に達する高原だが、そのスケールがばかかなくて、ゆるい起伏の平野としか感じない。時間と共に標高を忘れて、まさに大いなる西部となる。

アメリカ気象学会の会長 David Atlas 氏によれば、「ロッキー山脈の東麓は、アメリカにおける大気科学研究の一大基地である」。ボールドの NCAR およびその飛行場、レーダ基地などの付属施設、NOAA (海洋・大気庁) や NBS (標準局) のボールド研究所、コロラド大学 (CU)、数10マイル北のフォートコリンズにあるコロラド州立大学 (CSU)、コロラドの州都のデンバー大学などがそれらを物語っている。

#### 4. 目標, 組織, 研究の概要

NCAR は 2 節で述べた基本的使命を果すべく次のような 5 つの長期的目標を持っている。(1) 現在の短期予報を 1 週間程度まで延ばすこと。(2) 気候のトレンドとその原因を解明すること。(3) severe weather に対する予警報の改善をはかりその制御の可能性を評価すること。(4) 太陽活動の諸過程およびその惑星間媒質におよぼす影響について理解すること。(5) 高層大気の変化傾向およびそれに対する諸影響について確定すること。NCAR の組織はこれらの目的遂行のためのプロジェクトおよびその支援部門から成立している。

所長は Francis Bretherton 氏で、また UCAR の会長でもある。内部重力波による運動量輸送、海洋循環における渦スケールと海底地形のカップリングの問題など研究上でも第 1 線にある。日々の総務的業務の責任者は John Firor 氏で Bretherton 氏の前の所長である。後述するように NCAR の資金は、UCAR の承認により NSF より出資されているから、Bretherton 氏は対外的な責任を直接的に負っている。このことは NCAR における人事、プロジェクトについて所長の意向が強く反映されることになる。

NCAR の総スタッフは約 700 人である。おおまかな内訳は、(1) 部長などの管理者 (30)、(2) 博士および同等クラスの研究者 (100)、(3) 修士、学士および技術者それにパイロット (100)、(4) プログラマー (50)、(5) オペレーター (20)、(6) 電気、機械、グラフィックなどの技術者 (80)、(7) 管理部門 (50)、(8) 写真、印刷、図書、編集など (40)、(9) 事務関係 (90)、(10) 研究補助者および学生 (70)、いずれも暫定期間の雇用、(11) メンテナンス (40)、(12) 熟練技術者 (10)、その

他となっている。

NCAR の組織図を第 1 図に示す。便宜のために各研究部門の責任者または代表者をカッコ内に示した。研究部門はいくつかのプロジェクトから成り立っている。この組織は固定したものではなく、所長の戦略や対外的要因で改編され得る。以下組織図に沿って、各プロジェクトの現況を紹介する。

#### 4-1. AAP—部門

##### a. Climate プロジェクト

過去、現在および将来の気候を決定する上で最も重要な物理過程の複合された効果を判別し、また数値的にシミュレートすること。物理過程の中でも、雲とエアロゾルの相互作用および、その放射平衡におよぼす効果の問題。このプロジェクトは、大陸の規模で、2、3 週間から 2、3 カ月の時間スケールでみた、降水量および気温の季節偏差や、1 年の長さまでの全球的規模の偏差を予報することを目ざしている。この目的のために簡単な 1 次元モデルから NCAR の大気大循環モデル (GCM) が利用されており、気候に対する統計・力学的な研究も試みられている。

##### b. Empirical Studies プロジェクト

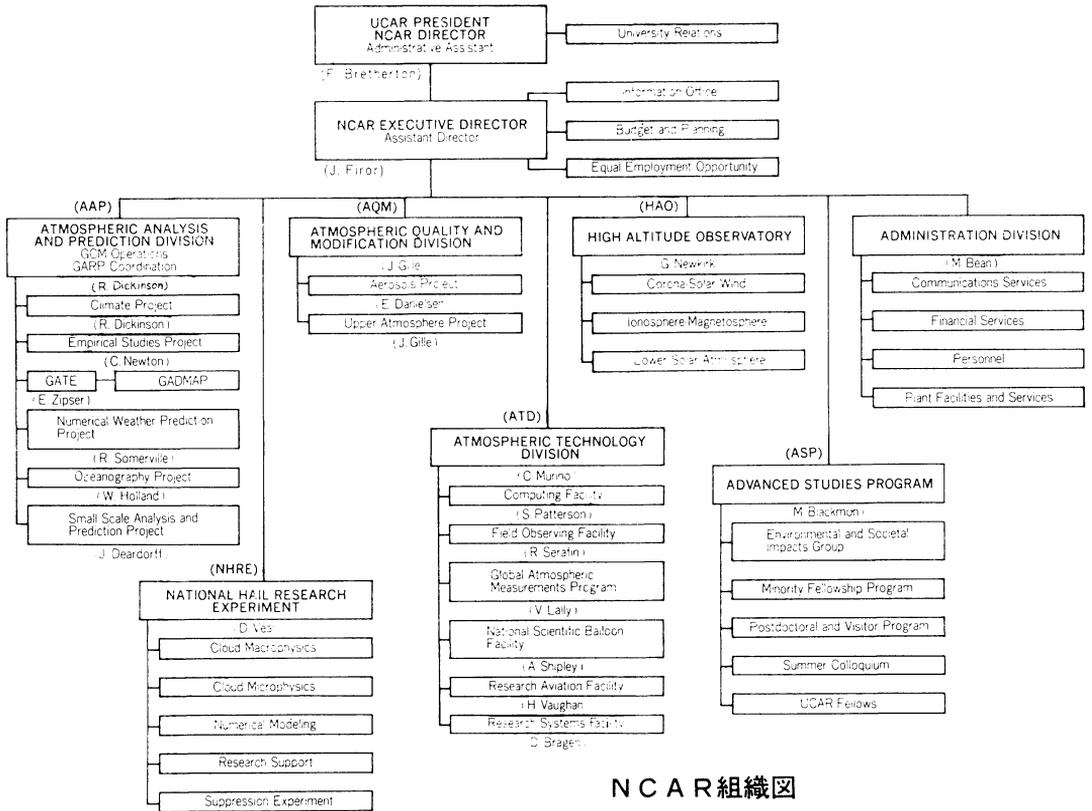
大気に対するより改善された記述、および大気の実像を説明し得る物理過程に対する研究を目ざしている。このために、大洋の上層の解析、対流圏および成層圏の 3 次元的平均構造とその季節変化、周期 4 日程度以上の大規模波動擾乱、ウォーカー循環および太平洋赤道近海の表面水温の変動、地表気温の経年変化、全球規模でのエネルギーおよび運動量バランス、インド洋モンスーンなどの研究が実施されている。

##### c. GATE and GADMAP

多くのあまり良く知られていない熱帯の天気系の実態を明らかにし、全球規模の天気予報に資するべくなされた GATE (The GARP Atlantic Tropical Experiment) のデータ解析が主である。背の高い積雲対流と関連したメソスケール系の定量的記述が、運動量、水、エネルギー収支によってなされている。対流系とそのまわりの大気との関連、境界層の構造と積雲対流とのカップリング、積雲対流および境界層流束に対するパラメタライズなどである。GADMAP は GATE における飛行機観測結果の系統的処理を行なっている。

##### d. NWP プロジェクト

これはいわゆるラージスケールの天気予報の精度改善および予報の範囲を延ばすべく意図されている。GARP



NCAR 組織図

第 1 図

の目的に沿って、予報モデルのための全球的規模のデータの作製、現在の種々な数値予報モデルに対する“治療”。

e. Oceanography プロジェクト

大洋中におけるメソスケールの渦の力学およびそれらの大洋大循環に果たす役割の理解に向けられている。そのことは海流に対する有効なモデルや、熱、塩分その他のトレーサーが全海洋系内で再配分されるプロセスに対する有効なモデルを組み立てるために本質的であると認識されている。気候変動と海洋力学、大洋と大気との相互作用。

f. SSAPP プロジェクト

このプロジェクトは、限られた領域および短時間予報を改善するために必要な研究を行なっている。このために、新しい観測、解析およびスモールスケールの天気系を予報する方式を開発している。メソおよびラージスケールに対するモデル作りに有効な、よりスモールスケール過程のパラメタリゼーションを目標としている。境界層

の力学、CAT、および山岳波による運動量輸送、積雲対流、大気乱流・拡散の室内実験。

4-2. NHRE

この部門は、雲に種まきすることにより農作物に被害を与える雹を抑制する可能性を見極め、かつ実行上それがどの程度まで可能かを研究するところである。抑制技術の開発、その効果の判定、経済的、社会的、法的问题、夏期におけるコロラド北部での空陸一体の観測。

4-3. AQM—部門

a. Aerosol プロジェクト

天気におよぼす、大気エアロゾルの複雑な影響に対する理解が主眼で、陸上および洋上で生成されたエアロゾルがその発生源から雲物理過程の中にどのように入り込むかを追跡している。エアロゾルの成分、形・大きさの分布、生成・輸送、sink などの研究が実験室およびフィールドで行なわれている。数値モデルの開発。

b. UAP プロジェクト

圏界面より上の大気中における化学的、物理的および

力学的プロセスに対する定量的理解がゴールである。そのようなプロセスが太陽活動や下層大気中の自然および人間の活動とどのようにかわりあっているかが問題である。数値モデリング、上層大気の採集、遠隔測定。

#### 4-4. ATD一部門

この部門は NCAR における諸施設の計画、設置、運用にあたり、特に2節で述べた NCAR の大規模共同利用施設を担当している。次節で触れる。

#### 4-5. HAO

ここでは近代太陽天文学における基本的問題が焦点になっている。コロナ研究が有名だが現在のところ、素粒子物理、プラズマ、地球電磁気、電磁流体力学などの諸分野の集積や相互関連が図られている。

#### 4-6. ASP

NCAR の使命に照して、この ASP は非常に多くの訪問者を持ち、かつ各大学の研究者と NCAR との間で高度のそして長期にわたる相互作用を推進する機能を持ち、かたや研究や指導的スタッフを発展させるべくデザインされた教育的機構を持っている。このプログラムには、少数民族系の学生に対する夏季プログラム、博士および上級博士研究者に対する給費プログラム、2カ月にわたる夏季コロキウムなどを含む。天気予報が経済学の観点から取り上げられている。

#### 4-7. Administration 部門

この部門は管理的サービス、研究支援サービス、各プラントの管理を行なっている。

### 5. 主な施設と予算

次に NCAR を支える予算について見る。1975年度でみると、約60億円の予算規模で、その80%が NSF の直接資金、残りは NASA, NOAA それに大学その他の出資となっている。そのうち約3分の1が共同利用施設である電子計算機、航空機、フィールド観測機器などの運用にあてられている。

電子計算機は CDC 6600, 7600 が稼動しており、両者合わせて年間約1万時間使われている。また、リモート・バッチシステムにより、はるばる東部のジョンスホプキンス大学やフロリダ大学など30近くの大学と結ばれている。特に電子計算機で感心させられるのは何よりもまず「使いやすさ」である。いくつか羅列してみると、どんどん開発され、標準化され公開されてゆく各種のサブルーチンプログラム、気象学研究用の基本的なデータの整備、マイクロフィルムを利用したアウトプット、有線テレビによるジョブの処理状況の刻々の表示、オペレ

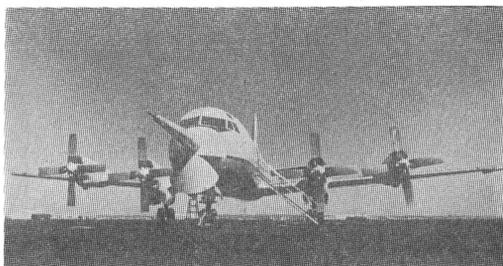


写真3 NCAR の観測用飛行機：エレクトラ (NCAR パンフより)

ータと計算依頼者が冗談のひとつも言えるような IO のカウンター、夜行性の研究者にも便利なカード・パンチ室の24時間開放と計算機の24時間受け付け、狭いながらも雑談のできる雰囲気、これらを支えるのは予算もさることながら第1級の学者プログラマー群と共に、ユーザー本位に徹した運用方針にあると思われる。NCAR 大循環モデル (GCM) などの計算時間を多く占有するプロジェクトに専門のプログラマーが加わっているのも上述の円滑な運営を企図したものであろうか。

NCAR における共同利用施設でもうひとつ重要なものは航空機部門 (Research Aviation Facility) であろう。航空機はビーチクラフト社のクィーン・エアが2機、ノースアメリカンの双発ジェットセイバーライナーが1機、ロッキード社の4発ターボプロップエレクトラの都合4機で、いずれも NSF の所有である。基地は NCAR から30分のドライブで行ける便利さである。飛行時間は4機合わせて1975年度で1,500時間に達している。エレクトラは今年の AMTEX II には日本にも飛来した。これらの航空機による観測成果は、私の興味ある分野だけみても、山岳上空における運動量の下向き輸送の評価や、ロッキー山脈東麓に発生する暴風の鉛直構造を明らかにし、それらに対する新しい視点を生み出している。NCAR はこの航空機の運用と開発だけで1977年度には5億円近く支出しようとしている。

この他にもフィールド観測機器関係にやはり5億円近い金をかけている。このことはまだまだ現象に対する観測サイドからの認識に研究の大きな比重がかけられている証左であろう。

もうひとつ見逃せないのは NCAR の研究交流と大学院レベルに対する教育的役割である。特に1カ月以上にわたる夏季コロキウム、博士課程終了者(選抜された)に対する1年間の給費研究生の制度、それに大学の有力研究者による数カ月間の研究滞在制度などがあり、これ

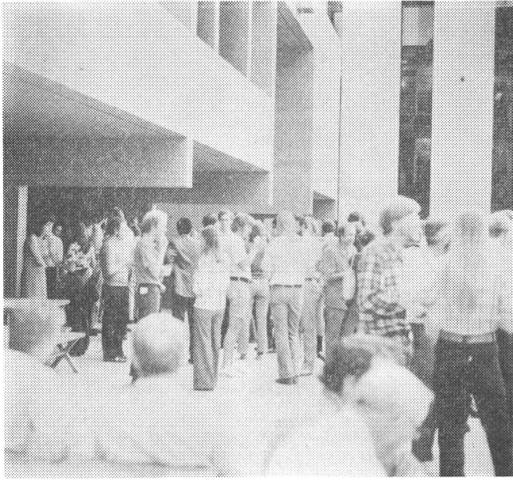


写真4 夏期訪問者のためのパーティ.

らに毎年1億円以上さいている。この他に数日間から1年間にわたりアメリカ内外から非常に多くの訪問者がある。1975年度における1カ月以上の訪問者は270人以上にのぼっている。このうちアメリカ以外からは50人に達している。国別では、フランス、西ドイツ、イギリスからの数名づつを筆頭に、東ドイツ、オーストラリア、日本をはじめ20カ国以上にわたっている。このような内外の訪問者を交えて開かれるセミナーや各種会議は、前述の地理的条件と相俟って NCAR がアメリカのみならず国際的な大気研究のひとつの核と呼ばれる所以である。NCAR のもつ研究交流機能は大いに注目されるべきであろう。

## 6. 運営

NCAR の運営は UCAR のマニュアルに従っている。待遇面をみよう。第4節で述べた700人にわたるスタッフのサラリーは完全な職階職務制によっている。雇用形態は(1) 停年までの終身グループと、(2) 年俸の更改が必要なグループの2つに分かれている。研究者は通常3年または5年契約であり、3年契約は2回まで、5年契約は1回のみである。もちろん各3年後、5年後に更改が必要である。従って若い研究者は都合11年経過後上席研究者(このポストは形式的には停年まで更新なし)に昇任しなければ NCAR にとどまることは出来ない。この(2)グループには超過勤務手当という思想はない。特殊技能を有する技術者、事務系スタッフ、メンテナンス関係は(1)グループである。停年は65歳で、例外的に71歳まで延長の余地がある。

サラリーの格付けに触れてみる。(1)、(2)別に10数

のレンジをとり、おのおの最低および最高年俸額がテーブル化されている。各ポストは(1)または(2)のなかのいずれかのレンジに対応している。これらはアメリカ国内の類似職種とバランスするようチェックされている。スタッフの募集に際してはそのポスト名、レンジと満たされるべき資格が公示される。レンジ内での年俸の格付けは交渉による。毎年1回いわゆる上司による考課が行なわれ、交渉によりアップが可能である。いわゆる定期昇給はない。上司はそのスタッフに助言をしなければならぬし、昇給・昇進には同僚グループによる評価も加味される。

(1)、(2)テーブル間のかなり大きい格差など、このような制度における NCAR 内での実際的な問題点をつかむには至らなかった。しかし各部署のスタッフ、特に女性達も実に堂々と仕事をし、屈託がない。コンピュータ室の壁には大学名の入ったベナントが張られ、また研究室には娘の学校の作品をべたべたと張りめぐらしてあるのも、大学の共同利用機関らしい楽しさがある。

次に研究サイドから眺めてみる。研究活動と個人あるいは組織との関わりについてわれわれと比較してみるのも無意味ではない。

NCAR では毎年約1週間にわたり、管理部門、各共同利用施設をはじめとして、すべてのプロジェクトの責任者および実質担当者による抱負が全所的に公開で披露される。これは前年度の成果・進捗状況をはじめ、次年度に向けての活動目的、計画、要望などが出される。必要により長期の計画も披露される。これは“Stand up” Presentation と呼ばれている。まさに、「いざ立ち向かわん」である。あらゆる階層のスタッフが気軽に参加し、冗談のひとつも飛んでいる。これは文字通り、相互理解に役立っている。また各プロジェクト毎に外部の研究者および NSF 担当者による科学面からの評価が行なわれている。各プロジェクトには UCAR メンバーおよびそれ以外の機関からのスタッフによる助言委員会があり、機能している。このようないくつかのシステムは形だけのものではさらさらしない。むしろそれらは研究者は研究において、また支援部門ではその各分署での、責任を明らかにするものとしてすんなり受け入れられているように見受けられた。各研究部門やプロジェクトの中ではどうだろう。私のいた AAP 内の経験では、スタッフは良く部屋から部屋へと歩き回っている。荒し回る感じだが、これは同僚をダンにして自分の見解や推理をチェックしているように思われる。ダンにされる側に

も、何かの利益があるから勘定が合う。

毎月曜日の3時45分から、部規模の集まりがあった。最初15分間部長による事務連絡的な話、ついで3人の研究者が15分づつ、どのように研究が進展しているかを報告し、簡単な討論がある。5時には終わる。1年間に2回ぐらいその順番が来る。3時45分というのはうまい時間だなと感じた。

有能なセクレタリがいる。Ann嬢は私の隣の部屋であり、良く「日本語」を解してくれた。A氏に電話がかかる。受話機がとられないと、「こちらはA博士のオフィスです。今、席を離れています。何かメモをおきましょうか……」と、ドラフトをタイプする手を休める。スタッフの旅行の手配から、コピー、発信文書の起案、清書と彼女は10人くらいのスタッフを掌握している。研究室におけるかなめである。セクレタリの休暇に備えて何人かの女性が予約されている。事実、Ann嬢の結婚により3週間近く、代理の秘書が発令された。このAgnesさんは、非常な日本びいきで何かとお世話になった。

運営とは直接関係ないが、NCARでは、グラフィックやPhoto shopが専門技術者により一括運営されており、荒い原図を持参すると、論文用の図版や、スライドなどをきれいに仕上げしてくれる。また試作工場、印刷工場を持ち、ドラフトの増刷りをはじめ、種々な本が印刷されている。

毎週Staff Notesが全員に配布される。NCARの運営に必要な連絡事項が主であるが、向こう1週間のセミナーの案内、予定されている訪問者のリストなど非常に便利で、NCARの活動状況が良く反映されている。

消耗品類は勝手に倉庫に行き必要なものを取り、サインをしておけば良い。

図書室は決して広いとは言えないが、所有図書に対する論文のタイトルや書籍名によるリスト、また著者名別のリストがコンピュータ管理されており文献調査がしやすくなっている。図書の貸出・返却はセルフサービスである。

## 7. 1980年代に向けての NCAR

1970年代の後期から1980年代前期に向けての研究の動向に簡単に触れてみよう。

基本的には4節で述べた5つの柱に沿っている。主なものを掲げる。

(1)では、FGGEデータの解析およびいろいろの数値モデル実験に対してのデータの利用。この前段に

GATEのデータの利用化が考えられている。これらはより高性能の電子計算機への更新(1977年)を前提にしている。(2)では、大気と海洋循環モデルのカップリングを考慮した気候の数値予報技術の改善、全球規模の海洋循環に対する海洋のメソスケール渦の役割についての理解が目ざされている。(3)では、いくつかの新しい観測網や観測手段を利用して、マイクロスコピックからシノプティックスケールにわたる大気物理過程に対する理解が掲げられている。エーロゾルの生成、生長、拡散と大気現象との関連、局地気象のため可搬型の自動気象観測網、境界層観測網、Severe Environmental Storms and Mesoscale Experiment (SESAME)などが主な中味である。このSESAME計画は着々と軌道に乗っており、大気物理に対する今後の有力な核になる。このSESAMEにはまさに、大気よ「開けゴマ!」の響きがある。わが国においても、たとえば「台風」や「集中豪雨」に関してもその研究のゴールを究極的な解明においたプログラム(おそらく10年のオーダー)に、国家的投資が望まれる。(4)では、太陽コロナおよび太陽風の3次元モデルの確立、変動する太陽風のもとでの磁気圏やイオン圏の時間的挙動に対する予報などである。(5)では、成層圏に対する自然および人間活動によるインパクトの研究が基本におかれている。成層圏における化学組成の測定、フロンガスやチッソ肥料など人造物の拡散によるオゾン層に対する影響、光化学過程を旨とした数値モデル、全球規模の成層圏エーロゾルの研究などが考えられている。

最近の情報によると、NCARは本年7月に現在のCDCシリーズを全面的に更新し、かわりにクレー社のCRAY-1Aという超大型電子計算機の導入が決められている。これはNCARの1980年代のプログラムにも十分耐えるものである。心臓部のCPUの大きさはわずか直径1.22mで、12.5nsのサイクルタイムを持っている。64ビット単位で100万個のメモリを持ち、400億ビットの高速度ディスク機能を持っている。全費用は約25億円である。

## 8. おわりに

この報告はもとよりNCARのすべてではなく、かなりの主観が入っている点はお許し願いたい。最後に私および家族の訪問に際しピザの取得から、アパートの手配、滞在中の世話に至るまで奔走していただいた笠原彰博士、写真や資料を快く提供してもらったNCARの関係者に紙面を借りて深く感謝する。