

## 藤原賞をいただいて

—2011年度藤原賞受賞記念講演—

田 中 浩\*

### 1. 研究の発端

私は東京大学の大学院を1969年に満期退学をして郵政省電波研究所に就職した。大学院ではほとんど研究らしいことをやっていなかった。電波研究所ではたまたま音波レーダーを使って大気境界層の観測を行っていた。観測結果をみて驚かされた。昼間には熱対流が卓越していたが、夜になると薄い層が現れ、その内部に多数のこぶのような渦 (Kelvin-Helmholtz 波) が含まれていた。この乱流薄層に興味をもち、この発生メカニズムが内部重力波の砕波によるものだと仮定して、興味をもって研究を続け、学位論文を完成し、1973年に理学博士の学位を取得した。

1976年にたまたま渡米する機会をもちイリノイ大学の小倉義光先生のもとに1年間滞在した。そこでたまたま Geller さんに来て意気投合し、当時大学院生であった Fritts さんを加えて内部重力波の臨界層不安定という概念により乱流層が発生することを発見し、この結果を論文にして米国気象学会誌に投稿した (Geller *et al.* 1975)。Geller さんとはその後も親しくさせてもらっている。渡米を通じて多くの研究者との交流をもつことができ、研究の視野が広がってきた。

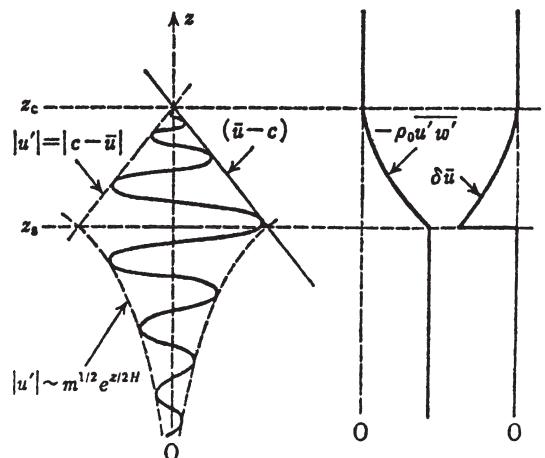
### 2. 研究の展開

1978年小野 晃先生から名古屋大学水圏科学研究所の助教授に招聘された。私は大学院生を指導しながら内部重力波の研究にまい進した。院生の山中大学さんとは時には夜を明かして議論したこともある。当時 MAP (Middle Atmosphere Program, 中層大気研究

計画) とよばれるプロジェクトが実施されていた。彼とは宇宙研の人々と協力して大気球に放電式風速計を搭載して成層圏の乱流層を観測した。実際、成層圏には数十mから100mにおよぶ乱流薄層が何層にもわたって観測された。山中さんとの研究過程でたくさんの論文が書かれ、これらの研究により日本気象学会賞を賜った。

### 3. 成層圏力学の発展

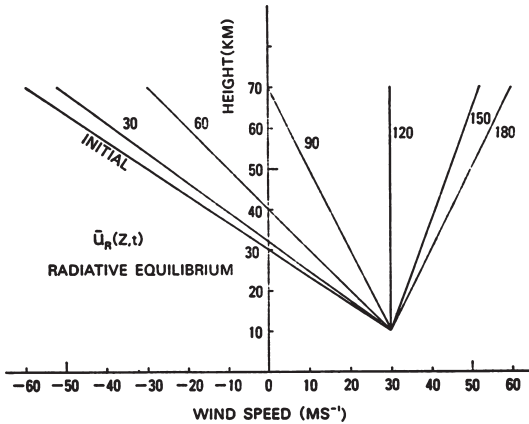
内部重力波の奇妙な性質が Booker and Bretherton (1967) によって明らかにされた。下方で発生する内部重力波の運動量のフラックスが臨界高度で急激に減少するというものである。これは内部重力波の臨界層吸収と呼ばれその説明は第1図に示されている。この新しい概念によって新しい研究の地平が開けるとともに新しい研究者層が現れた。



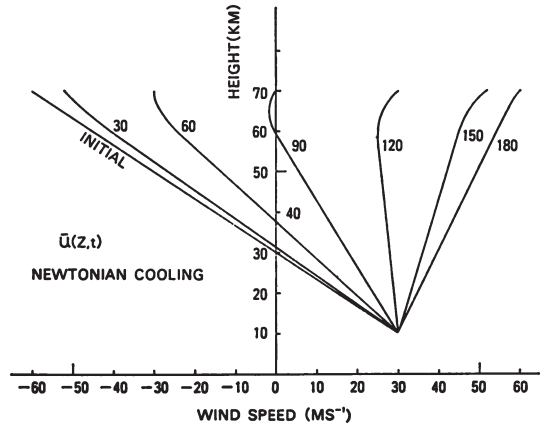
第1図 内部重力波の崩壊による平均流加速のメカニズム。左図：波の振幅，右図：運動量フラックス。

\* 名古屋大学名誉教授。 tanh@r6.dion.ne.jp

—2011年8月31日受領—  
—2011年11月24日受理—



第2図 放射平衡風の時間変化 (Tanaka and Yamanaka 1985). 数字は夏至からの経過日.

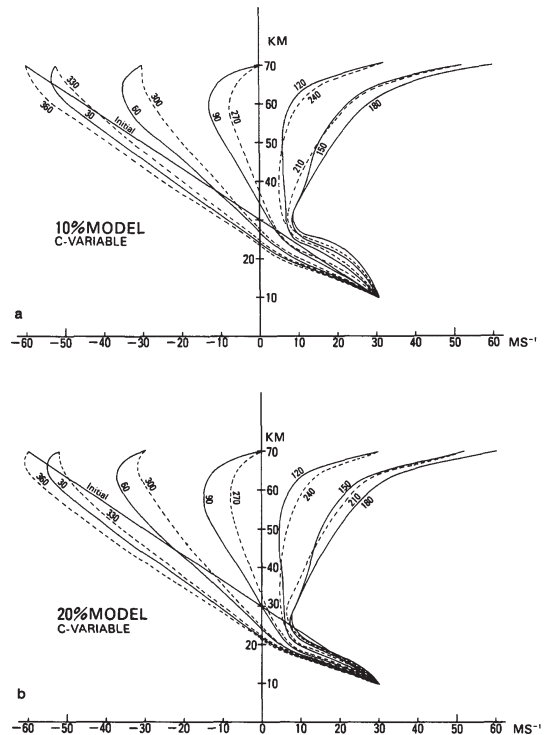


第3図 ニュートン冷却を含む平均風の時間変化 (Tanaka and Yamanaka 1985). 数字は第2図と同じ.

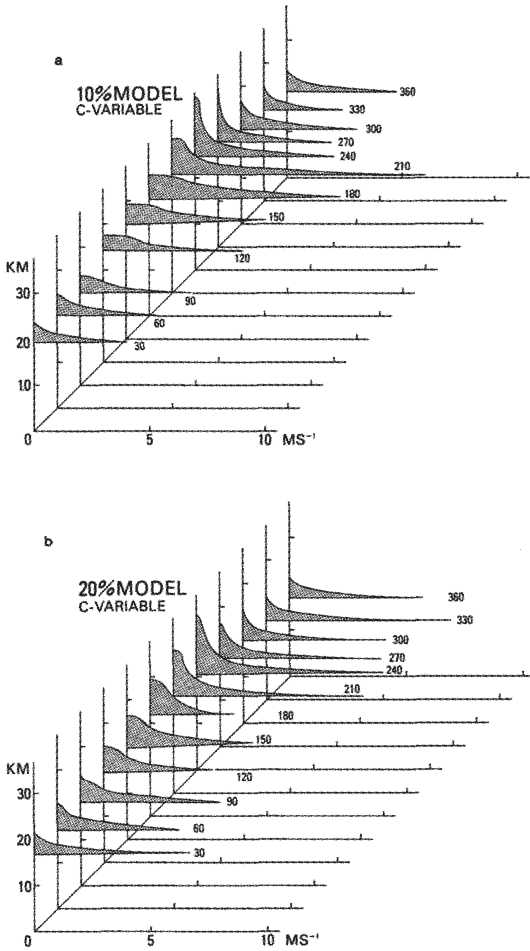
これまで対流圏では内部重力波は単なるノイズとしかみなされてこなかった. せいぜい航空機に乗って感じる晴天乱流ぐらいの経験しかないだろう. しかし成層圏近傍まで上昇すると内部重力波が増幅して大きな役割を果たすようになる. その例を二つ挙げてみよう.

(I) 下部成層圏弱風層の形成

Lindzen (1981), Holton (1982), Matsuno (1982) は内部重力波の臨界層吸収を応用して中間圏界面付近での風速逆転を説明することに成功した. 私は下部成層圏の弱風層の形成を臨界層吸収の原理を適用してその解明を試みた. それは Tanaka and Yamanaka (1985) に示されている. 放射平衡風の季節変化が第2図に示されている. 第3図には放射平衡風にニュートン冷却効果を追加した風速の季節変化である. この際, 下部境界全体の平均ストレスを  $-0.5 \text{ Nm}^{-2}$  に対して10%の場合を10%モデル, 20%の場合を20%モデルと定義する. 第3図に示された風速に臨界層吸収を適用して経度平均弱風層を再現することができた (第4図). 第5図には新しく出現した子午面風速度の季節変化が示されている. とともに極めて狭い高度範囲に子午面風が集中していることがわかる. 第6図には運動量フラックスの季節変化を示す. やはり狭い高度領域に運動量の急激な変化が見られる. このように下部成層圏の弱風層は内部重力波の臨界層付近の吸収によって発生することが実証された. 重力波吸収の実際の方法については拙著 (Tanaka 1986) を参照いただきたい.



第4図 内部重力波の臨界層吸収を仮定した平均風速の時間変化 (Tanaka 1986). 夏至からスタート. 上端の速度境界条件として高さ70kmで速度を一定とした. (a) 10%モデル, (b) 20%モデル.

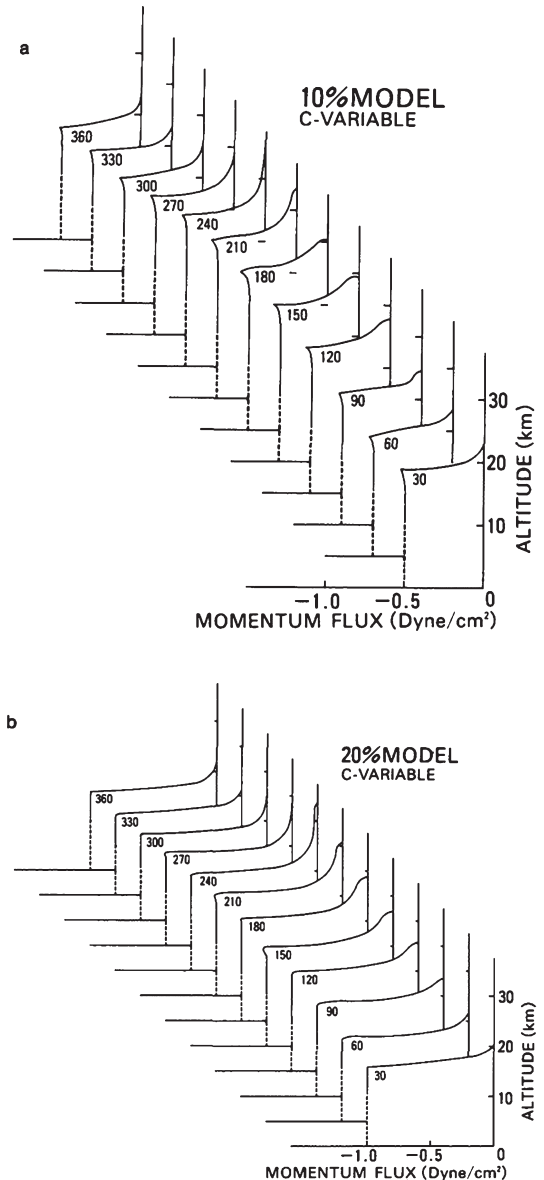


第5図 臨界層吸収によって生じる子午面風の時間変化 (Tanaka 1986). 夏至からスタート. (a)10%モデル, (b)20%モデル.

(II) 偏西風バイアスの形成

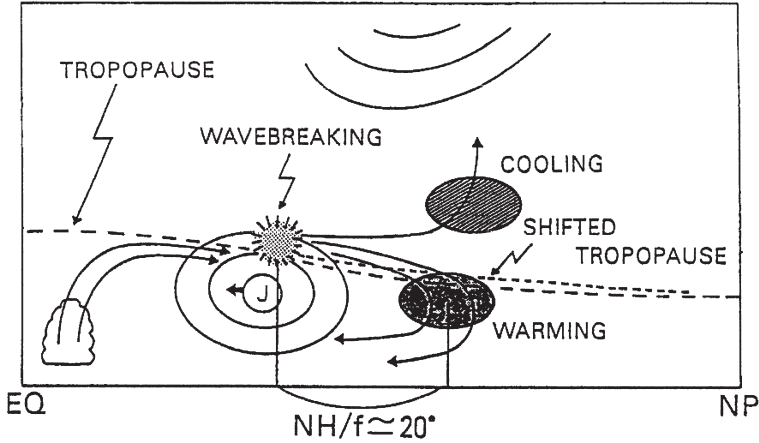
北半球と南半球でジェット気流の強さは異なる. 南半球の方が一般に強く吹いている. この原因を下方から伝播する内部重力波の臨界層吸収効果を適用して数値計算の手法で調べた. この論文は Tanaka and Geller (1999) に掲載されている. 地球の北半球は山岳が多くそこから位相速度ゼロの内部重力波が放出されている. また積雲対流から位相速度が小さな内部重力波が発生している. 一方, 南半球は海が多く内部重力波の放出は極めて少ないと考えられる.

位相速度ゼロの内部重力波をジェット気流を含む大気に適用した場合の影響は第7図に示される. 臨界層



第6図 第5図と同じ (Tanaka 1986). ただし運動フラックス (1 dyne cm<sup>-2</sup>=0.1 Nm<sup>-2</sup>). (a)10%モデル, (b)20%モデル.

吸収によって第7図に示されるように子午面風が極向きに発生する. 圏界面付近を極向きに進む流れは中高緯度で上方と下方に分離するが downward control principle によってほとんどは下方に向かい大気を暖める. その結果, 南北の温度差が弱まりジェット気流が減速するというメカニズムである.



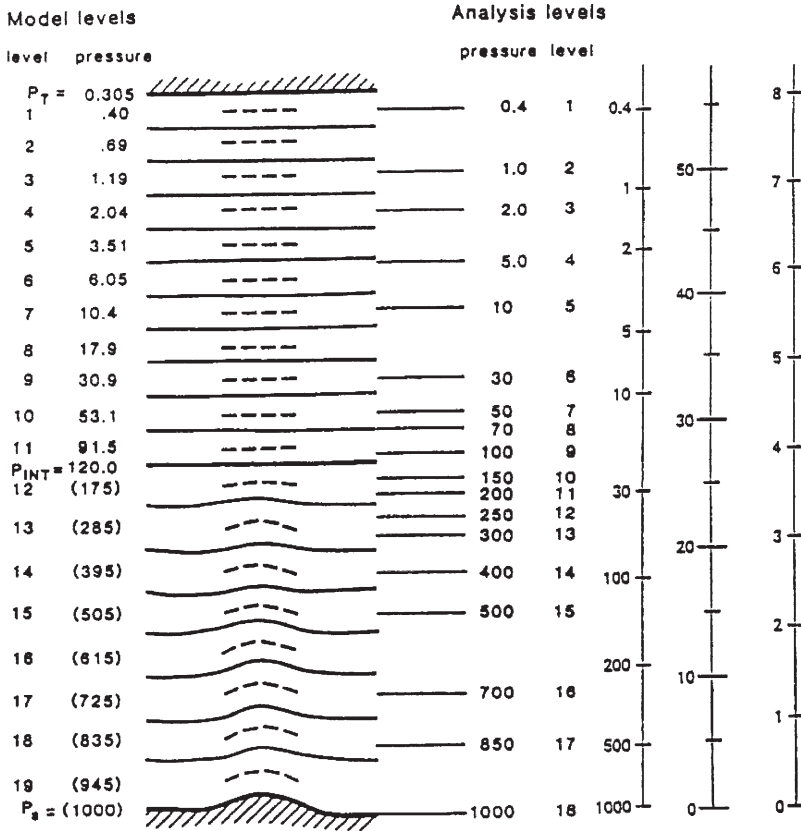
第7図 大気大循環が大気重力波の碎波によってどのように変化するかを説明する模式図 (Tanaka and Geller 1999).

第8図に示されたNASAの大循環モデル (Kalnay *et al.* 1983) を使って内部重力波を含む場合と含まない場合を計算した。第9図は内部重力波を組み込んだ場合と、内部重力波を組み込まない場合の風速分布である。内部重力波が卓越している北半球の方が南半球に比べてジェット気流は減速していることがわかる。

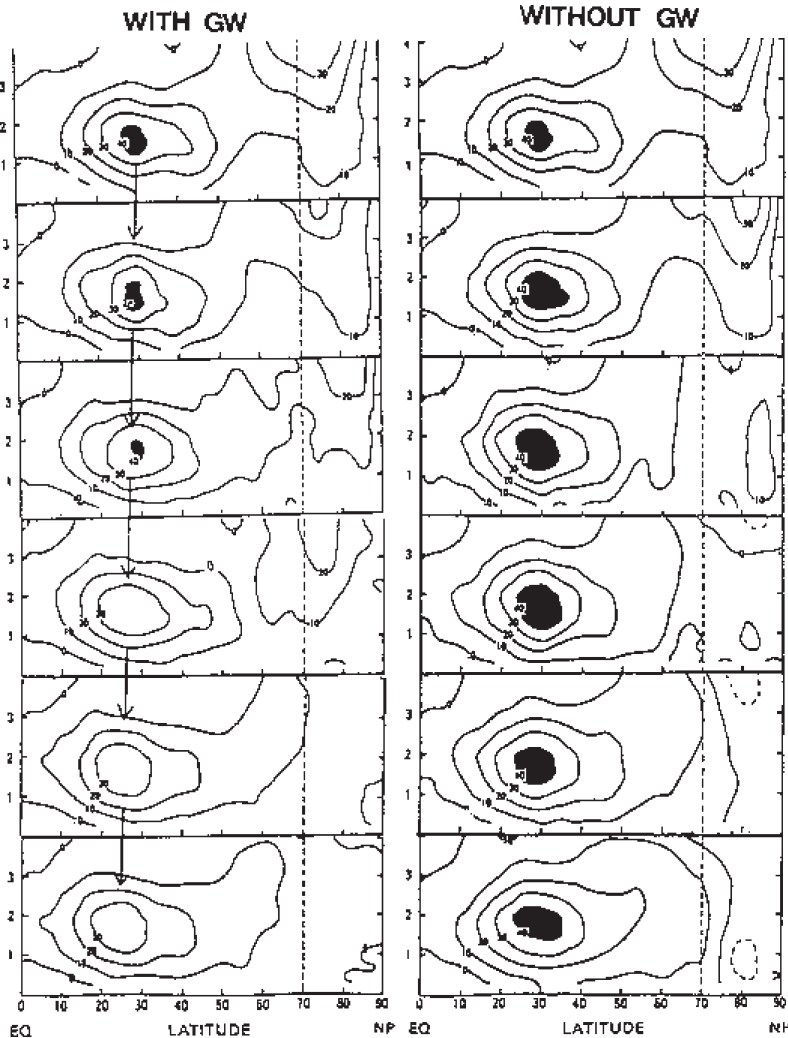
4. 研究者との交流

内部重力波に関する研究を2例紹介した。これら以外にも私の内部重力波に関する研究は数多いがここでは紹介することは控えておきたい。私は多種多様な研究をする機会に恵まれたがそれらは後に紹介するとしてやはり私の研究の中心は内部重力波ではなかったかと考えている。海外の友人も Marv Geller, Dave Fritts, Mike McIntyre, Dick Lindzen など内部重力波関係の研究者が多い。

日本国内でも多くの研究者との交流に恵まれた。松野太郎先生にはその先見性にいつも驚嘆していた。廣田 勇先生には大学院生のときからお世話になった。東大の大学院生の研究室で松野先生と廣田先生がいつも議論していたのが思い出される。岩坂泰信先生は成層圏エアロゾルのライダー観測で業績を挙げていた。また後輩の余田成男さんや高橋正明さんとも議論して



第8図 対流圏と成層圏のNASA大気大循環モデルの鉛直構造 (Kalnay *et al.* 1983).



第9図 経度平均風速の時間変化 (Tanaka and Geller 1999). 左図: 大気重力波を含む. 右図: 大気重力波を含まない.

いただいた。一方、京都大学の加藤 進先生や深尾昌一郎先生とも IS (incoherent scatter) レーダーを通して成層圏乱流について多くの議論を行った。

大学院生の指導にも忘れられない思い出が多い。吉沢宣之さんとは QBO (quasi-biennial oscillation) の数値計算を、横山辰夫さんとは降雨レーダーの研究を、牛丸真司さんとは成層圏ロスビー波の南北半球の振る舞いの変化について、永尾一平さんとは小笠原諸島での DMS (dimethyl sulfide: 硫化ジメチル) 観測を、古賀聖治さんとは DMS の研究を、松本 潔さんとは白鳳丸による海洋観測が記憶に残る。山本 勝さ

んとは金星大循環の数値計算を行い彼はその業績によって山本・正野論文賞を授与された。田中泰宙さんは気象研に移ってからタクラマカン砂漠からの黄砂伝播の数値計算を行った。もっとも印象に残ったのは岩朝美晴さんと阿部 豊 (当時助手) さんとやった地球温暖化の数値計算である。Lindzen による温暖化は起こらないという仮説を見事打ち破ったものだった。下川信也さんは修士課程を出て就職したが、是非公務員になりたいということで、国立防災研究センターに勤務して海洋乱流で業績を挙げている。神 慶孝さんは名城大学で卒論を指導したが名古屋大学大学院に進学して甲斐憲次先生の指導を受けている。中国からの留学生の銭 公望さんはエアロゾルの研究で学位を取得し現在中国の大学で活躍している。

## 5. 所長時代の憂鬱

私は54歳から58歳まで2期にわたって名古屋大学大気水圏科学研究所の所長を拝命した。1期目はあまり大きな問題はなく無難に経過したが、2期目になると難題が勃発した。国立の環境研究所 (中核研) を設立するという計画である。この企画の出処は多分京都あたりと思われる。その証拠にその所長候補にはすでに日高敏隆教授 (故人) が決まっていたようだし、中核研の検討委員会にも梅原猛先生など京都学派の大物が入っていた。中核研のような国立研究所を新設するにはどこかの研究所を廃止する必要があった。日本で一番小さな研究所であった大気水圏科学研究所に白羽の矢が当たったと思われる。多分文部科学省の上層部と合意ができていたので



あろう。しかし、あくまでも表面上は京都と名古屋を競わせる形が取られた。中核研の検討委員会では、その他にも研究所のプロジェクトなどの詳細も検討された。

そのうち、名古屋大学の大学院に大規模な環境学研究科を設置するという可能性が出てきた。この研究科は極めて大規模なもので文系から工系、理系にまで及んだ。この計画にも忙殺された。私が所長をやめて次の武田喬男教授に引き継いだときも依然として中核研を名古屋に設置するか京都に設置するかもめていた。名古屋大学は豊川の太陽地球環境研究所の跡地を提供することを申し出たが京都の人々は首をたてに振らなかった。中核研の名古屋への設置の可能性がほぼ絶望的になり、武田先生は水循環研究センターの設置を計画して認められた。

大気水圏科学研究所の人員の約半分は環境学研究科へ、約半分は水循環研究センターへ、3名が中核研転じて国立総合地球環境学研究所（地球研）へ移動した。先日、安成哲三先生の話では、地球研の大学院教育を名古屋大学の環境学研究科が受け持つことになったということである。このようにしてひとつの騒動は決着をみた。

## 6. その後の活動

所長を辞め、私は環境学研究科に移った。停年前の4年間は教科書の執筆に没頭した。本格的な教科書を執筆するのは初めてであった。できるだけ広い範囲の事象を書くように心がけた。タイトルを「大気科学とその周辺」とした。こんな長い本はなかなか出版社も二の足を踏んでいたが、たまたま文部省の科研費を獲得できて「現代出版」から出版できた（田中 2004）。木村龍治先生が「天気」に書評を書いていただき、感謝している。なにしろ600ページを超える大著であり16,000円の定価がついているので売れるかどうか心配である。

## 7. 停年退官

私は平成15年の3月31日に名古屋大学を停年になった。63歳であった。自分が停年になる日ははるか遠くのことと考えていたがいざ現実になってみると大いに動揺した。5月の連休明けに行われた退官記念の行事が名古屋駅前のホテルで賑わいの中にもあわただしく過ぎ去り、明日は第二の人生への旅立ちの日かと思うと急に心細くなった。私は第二の人生を和歌山の父親

の郷里で送るつもりでその敷地に退職金で家を新築した。

## 8. 高野山大学

大学のほとんどないこの地域に高野山大学があることを発見し、この大学に就職できればと考えた。そこには僧籍の先生も少なくないので真言密教の奥義でも聞かせてもらえれば楽しいに違いないと単純に考えていた。

退職1年目は高野山大学で非常勤講師として過ごした。生命倫理学を講義してくれという依頼であったが、環境倫理学も付随的に講義した。

私はこれまで哲学や倫理学に関心はあったが基礎的な勉強をしたこともなく、京都大学から鳥取環境大学の学長になった加藤尚武氏の本を数冊読んだだけで高野山大学の講義をすることはほめられたことではなかった。このあやうい感じを清算するためにも、私なりの基軸を環境倫理学に導入したかったのである。

これらの倫理学を勉強していて、生命倫理学と環境倫理学はまさに逆の傾向を持っていることに気づいた。生命倫理学は個人主義的であり民主的である。手術などの大規模な医療行為を行う場合はあらかじめ個人の同意をとることが義務づけられるようになっている。また、喫煙を強制的に禁止することはできない（愚行権の許容）。要するに個人の嫌うことをしてはならない、というのが生命倫理学に流れている基本理念である。一方、環境倫理学は非民主的で独裁的であり、封建的すらある。環境を子孫の代まで守っていくにはかなりの強制力を発揮させなければならないことも確かであろう。ただ、私は環境倫理学にこだわらずにさらに広く環境科学全般について研究してみたいと考えるようになった。

非常に短い期間であったが高野山大学では新しい講義をあてがわれ新しい知識を得ることができ、まことに有意義な生活を送ることができた。

## 9. 名城大学に奉職

退官1年目の夏、村松久史先生から名城大学の先生の後任にお誘いを受けた。そこは、名城大学理工学部環境創造学科という名称であった。村松先生と名古屋駅の喫茶店でお会いして大体のことを理解し是非やってみたくと思った。しかし、なぜ私を推薦していただいたかは謎のままである。しばらくして鶴舞線塩釜口名城大学に赴いて当時の環境創造学科の学科長で

あった伊藤政博先生とお会いして就職したい旨を伝え、名古屋大学退職後丸一年たった平成16年4月1日から名城大学に奉職することになった。

## 10. 講義

私は、3年生の環境気象学と環境リモートセンシングの2科目の講義と大学院の大気組成変動特論IとIIを、後に循環型社会創造学特論を受け持った。環境倫理学から一転して名大時代の本来の気象学・気候学に舞い戻ったように感じた。

ただ、名大と違って名城大学では、環境気象学を純粋な気象学ではなく、地球進化学、惑星科学、地球温暖化論、地球水循環論など地球の過去から現在までの姿を講義した。地球進化学では講義を準備する段階で、地球形成の過程、原始海洋の形成、地球の分裂と月の出現、マンツルの活発化と沈静化、全地球凍結、大陸の形成と分裂、生物大量絶滅など今までよく知らなかった地球の歴史を知ることができ、さらにその結果としての大気の質的・量的変遷についても理解することができた。特に原始海洋の出現は地球が太陽から適当な距離に位置していたため液体の水が存在できる条件を与えたためである。液体の水の存在によって生物が発生し、ついに人間にまで進化した。

環境リモートセンシングという講義が行われるようになったいきさつはよくわからないが、たぶん先任教授の村松先生の専門が大気放射学であったため、環境創造学科の発足に際して放射による遠隔観測の講義の重要性を期待されたものと思っている。

## 11. 研究

木星にエウロパという衛星があり、表層100kmは氷の層であるがその下は液体の水が存在すると考えられている。これはまさに全地球凍結と同じプロセスであり、数値計算によって十分その可能性があることを愛知医科大学の清水祐紀さんと共同で証明した。これは少々自信のある研究である。

また、金星の上層大気は4日で金星を1周する高速の風が吹いている。ほとんど自転していない金星でどこからそんな大きな角運動量もたらされるのかについて名古屋大学から引き続いて、理論研究を当時和歌山大学にいた山本 勝さんに行った。この研究で金星の中層大気の運動の基本的理解に達したと考えている。山本さんはいま九州大学応用力学研究所で頑張っている。

## 12. 終わりに

国立大学に勤めていた人は、採用や昇進などで大学を移動する際、私立大学をあまり選択しないようである。確かに大学院生は少ないし、ほとんど修士どまりで博士課程まで進む人は稀である。その意味では研究の戦力にはあまりならない。しかし、私立大学には別の意味のよさがある。研究だけがすべてではないという認識が必要である。むしろ講義の比重が大きく、いかにして講義をわかりやすく、興味たらしめるかを努力することによって現象の深い理解が得られると思う。私も名城大学に来てはじめて講義の重要性和同時にその醍醐味を味わうことができた。

私は、2009年69歳で名城大学を退職した。すでに三重県や愛知県の環境評価委員会委員もやめ、政府関係の審議会委員もやめていたので完全にフリーになっていた。長い研究人生であったがこれで幕を閉じたことになる。寂しさの反面、それなりの満足感もあったと感じている。これもお世話になった皆様方の温かい励ましの賜物と思っています。本当に有難うございました(本編の後半は拙著名城大学退任記念論文「さよなら名城大学」を書き換えたものである)。

## 参考文献

- Booker, J. R. and F. P. Bretherton, 1967: The critical layer for internal gravity waves in a shear flow. *J. Fluid Mech.*, 27, 513-539.
- Geller, M. A., H. Tanaka and D. C. Fritts, 1975: Production of turbulence in the vicinity of critical levels for internal gravity waves. *J. Atmos. Sci.*, 32, 2125-2135.
- Holton, J. R., 1982: The role of gravity wave induced drag and diffusion in the momentum budget of the mesosphere. *J. Atmos. Sci.*, 39, 791-799.
- Kalnay, E., R. C. Balgobind, W. C. Chao, D. Edlmann, J. W. Phaendtner, L. L. Takacs and K. Takano, 1983: Documentation of the GLAS fourth order general circulation model. *NASA Tech. Memo.*, 86064.
- Lindzen, R. S., 1981: Turbulence and stress owing to gravity wave and tidal breakdown. *J. Geophys. Res.*, 86, 9707-9714.
- Matsuno, T., 1982: A quasi one-dimensional model of the middle atmosphere circulation interacting with internal gravity waves. *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 215-226.
- Tanaka, H., 1986: A slowly varying model of the lower stratospheric zonal wind minimum induced by meso-scale mountain wave breakdown. *J. Atmos. Sci.*, 43,

- 1881-1892. IHAS, No.5, 22pp.
- 田中 浩, 2004: 大気科学とその周辺. 現代図書, 641pp. Tanaka, H. and M. D. Yamanaka, 1985: Atmospheric circulation in the lower stratosphere induced by the mesoscale mountain wave breakdown. J. Meteor. Soc. Japan, 63, 1047-1054.
- Tanaka, H. and M. A. Geller, 1999: Modifications of general circulation due to saturation and transience of orographic gravity waves. -A memoir-. Res. Rep.

---

## Receiving Fujiwhara Award

Hiroshi TANAKA\*

\* *Professor Emeritus of Nagoya University.*

(Received 31 August 2011; Accepted 24 November 2011)

---