

第25回国際レーダー気象学会議及び 第4回国際航空気象学会議報告*

上田 博^{*1}・田畑 明^{*2}・大野久雄^{*3}
大崎 祐次^{*4}・古津年章^{*5}・熊谷 博^{*6}
城岡 竜一^{*7}・高橋 暢宏^{*8}・道本 光一郎^{*9}
石河 直樹^{*10}・葦沢 浩^{*11}

1. はじめに

上田 博

第25回国際レーダー気象学会議は1991年6月24日から28日まで、フランスのパリで、アメリカとフランスの気象学会の主催で行なわれた(写真1)。また、第4回国際航空気象学会議も同時に開催され、二つの会議のジョイントセッションが設けられた。プロシーディングスの表紙の体裁も統一され、会議の受付も同一カウンターで行なわれ、ひとつの国際会議の感があったので、両方の会議について併せて報告する。

日本からは5つの研究機関から10人の発表があり、レーダーの製造メーカーの方も多数参加され、日本のこの分野への意気込みの一端が示された会議であった。この報告では気象学会員以外の参加者の執筆協力も得て、種々の角度から会議の様子を紹介する。

レーダー気象学会議30セッション、航空気象学会議11



写真1 エッフェル塔からみた、会場となったユネスコ国際会議場(矢印)。(撮影:高橋)

セッション、ジョイント2セッションの、合同の開会式では、まず参加者数の紹介(レーダー気象学会議:口頭発表211題、ポスターセッション48題;航空気象学会議:口頭発表69題、ポスターセッション23題、さらに、ジョイントセッション22題)があり、健在ぶりのきわだったD. Atlas(米国防空宇宙局)の基調講演があった。レーダーの歴史、最近までの研究の発展過程について、リモートセンシングの意義なども織り込みながらの熱の入った話であった。

続いて行われた研究発表、会議の雰囲気及び会場周辺の印象については各執筆者に述べていただくが、私の会議についての印象は「ドップラーレーダーの現業利用が現実のものになり、気象レーダーの研究はマルチパラメータレーダー時代に入った」ということに要約される。これは私の旧知の研究者が皆この分野に取り組んでいるからというだけではなく、今や気象学に必要な雲の内外の各種の量の測定が可能になったことを意味して

* Report on the 25th International Conference on Radar Meteorology and 4th International Conference on Aviation Weather Systems.

*1 H. Uyeda, 北海道大学理学部.

*2 A. Tabata, 気象研究所台風研究部.

*3 H. Ohno, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部.

*4 Y. Ohsaki, 通信総合研究所関東支所.

*5 T. Kozu, 宇宙開発事業団.

*6 H. Kumagai, 通信総合研究所.

*7 R. Shirooka, 北海道農業試験場農村計画部.

*8 N. Takahashi, 北海道大学理学部.

*9 K. Michimoto, 防衛大学校地球科学科.

*10 N. Ishikawa, 明星電気.

*11 H. Nirasawa, 気象研究所気象衛星・観測システム研究部.

いる。

2. レーダー気象学会議の3つのセッションの話題から

田畑 明

<セッション1: 現業レーダーとネットワーク>

レーダーの現業での利用というところ最近では、米国の NEXRAD (次世代レーダー) 計画と TDWR (空港気象ドップラーレーダー) 計画が良く知られているが、このセッションでは米国の他、アルゼンチン、中国、台湾などにおけるレーダーの現業での利用、ヨーロッパにおけるレーダーとウインドプロファイラーのネットワーク作りの紹介があった。ヨーロッパでは ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター) のモデルのためのデータをプロファイラーで作るために、COST 74 計画でヨーロッパ全体を覆うプロファイラーのネットワーク作りが進んでいる。そのために、ユーザーの要望調査、プロファイラーの標準仕様の提案がされた。

<セッションJ 2: マイクロバースト>

このセッションは、航空気象学会議とのジョイントセッションとして行われた、米国で発生するマイクロバーストに関しては、これまでのコンファレンスで解析がほぼ出尽くした観があり、発表が少なく、日本、オーストラリア、フランスなどのマイクロバーストの観測例の発表があった。

デュアルドップラーレーダーの観測結果と、3次元モデルにより、マイクロバーストの下降流のでき方を論じているのが興味深かった。日本の観測例としては、北海道で発生した、トルネードとマイクロバーストをドップラーレーダーで観測した例(北大理の城岡・上田)や、東京で発生した強雨を伴ったダウンバーストの解析例(気象研の田畑ら)が示された。

放電活動とマイクロバーストの関係を調べ、雲間放電がマイクロバーストの前兆になるという解析結果(フランスの Laroche ら)が出席者の注目を引いていた。日本のダウンバーストではどうであろうか。

<セッション22: 熱帯メンスケール対流システム>

このセッションでは、主として、熱帯低気圧のレーダー観測についての発表があった。ハリケーン HUGO が米国南東海岸に上陸した後カナダを通過した際、地上のドップラーレーダーで観測された降雨帯の構造が示された(カナダの Joe ら)。寒冷前線の寒気が下層収束を維持し、降雨帯を長寿命にしていた。また、宮古島で観測

された台風9015号の眼の壁雲のドップラーレーダー観測結果が示された(気象研の石原ら)。対流活動が活発なところで観測された眼の壁雲を含むインナーコアの構造はこれまでに航空機搭載のドップラーレーダーで観測されたインナーコアの構造によく似ていた。台湾では、台風 YANCY (9012) のドップラーレーダー観測が行われ、地形の影響を受けた YANCY の眼の壁雲と、中心付近の風場が示された。今回はヨーロッパで開催されたためかいつもハリケーンのセッションで多数の発表を行う米国海洋気象庁のハリケーン研究所の発表がまったくなかったのが少し寂しかった。

今回レーダー気象学会議に出席して、他国では新しい機器、解析手法の開発と、それによる現象の観測・解析が盛んに行われているのに対し、日本では特に機器の開発に研究者が参加する機会が少なく、この方面の研究があまり進んでいないという印象を受けた。

3. ウィンド・シア現象の報告、興味を引かれた講演、レーダー作業部会への参加

大野 久雄

航空機の安全運行に影響を与えるウィンド・シア現象の実態をドップラーレーダーを用いて調べてきた筆者らは、(1)晴天エコーの中に見いだされるシア・ラインと突風の立体構造、(2)関東平野で夕方に吹く北東下層ジェット、(3)埼玉県と茨城県のダウンバースト、(4)地形に影響されて顕在化する局地寒冷前線の重力流としての振舞い、について報告した。いずれも日射や山岳地形が影響する現象である。

気象観測システムの整備・強化についての欧米の講演内容には興味を引かれるものが多かった。「数値予報モデルへのインプットに力点を置いた欧州のウインドプロファイラー計画」、「米国 NEXRAD・TDWR 展開計画の現状」、「改良型低層ウィンド・シア警報システムや同システムと TDWR の併用法」、「米国気象局の落雷位置標定システムの将来計画」などである。

また、竜巻やダウンバースト等の瞬発性気象現象に関連して「竜巻探知アルゴリズムの改良」や「マイクロバーストの探知率が95%を越えたこと」等についての国の発表には、改めて興味を引かれた。日本でも最近、ドップラーレーダーによる瞬発性気象現象の観測例が報告され始めているが、米国と違って絶対数がまだ少ないため研究が制限されている。わが国においてもドップラーレーダーの分解能を向上させたり、測定可能なドップラ

一速度範囲を拡大させたりして、「観測事例の増加」と「観測データの質の向上」を早急に図る必要があると感じた。

両会議の終了後、その成果を踏まえ、現業気象レーダーのあるべき姿やその利用法について提言を行うため、世界気象機関のレーダー作業部会（米英日などの8人で構成）がフランス気象局にて開催された。この部会では、「現業気象レーダーシステムの利用における最近の進歩というタイトルの技術レポートを、1993年の出版を目的に、分担して執筆すること」が決められた。世界的に利用法の開発が進んでいるドップラーレーダーについては、「激しい気象現象の抽出法」、「熱帯低気圧の監視方法」、「ソフトウェアの相互交換」、「関連研修計画」などが盛り込まれることになる。

4. マルチパラメータレーダーについて

大崎 祐次

ドップラーシフトや偏波特性を利用して観測情報量を増やすことにより、降雨観測の高精度化や雨滴と氷粒の判別が可能となるマルチパラメータレーダーの研究（特に直交2偏波レーダーについて）が精力的に実施されている。この研究分野において中心的な存在はアメリカとイギリスであり、この両国からは様々の研究機関の多数の研究者が発表を行った。他にイタリア、フランス、ドイツ、カナダ、中国、ソビエト等の発表があった。日本からは北海道大学および通信総合研究所の研究発表が行われた。筆者は計算機シミュレーションによる2偏波降雨レーダー観測における平均化パルス数と観測精度の関係および当研究所で開発した2偏波降雨レーダーの初期的な観測結果の二つを発表をした。

セッションを通して感じたことは、マルチパラメータレーダーはすでに基礎研究の段階を終了し、応用研究の段階に入ったということである。V.N. Bringi（コロラド州立大）が発表した直交2偏波レーダーから観測された Z_{DR} （垂直および水平偏波間の受信電力の比）、 ρ_{HV} （0）（両偏波を同時に観測した場合の偏波間の受信電力の相関）、 K_{DP} （両偏波間の単位距離あたりの位相差）等のパラメータの垂直断面分布およびそれらの情報から推定された降雨の立体構造が美しくカラー表示されるたびにその思いは強まった。また多くの研究者が散乱体の形状に関する情報を得ることができるパラメータ ρ_{HV} （0）を取り扱っていた。なかでもA.J. Illingworth（マンチェスター大）は、両偏波を交互に観測したデータから

ρ_{HV} （0）を推定する手法の誤差評価を、理論と観測の両面から行って非常に興味深かった。

この他にも様々なアプローチを試みた研究が発表され、マルチパラメータレーダーに関する研究領域は拡大していた。そのなかで筆者の発表したシミュレーションによる研究は少し毛色が変わった内容であるためか、ブアーな英語による発表にもかかわらずいくつかの質問があった。一方我々の開発した2偏波降雨レーダーに関する発表は、初期的な観測結果にとどまったためか、会場の反応は鈍かった。

会場の雰囲気はジョークによる笑い声がいつも聞こえることから概して穏やかである。またレーダー気象学の草分け的存在であるD. Atlasが第一線は退いたとはいえ、オープニングセレモニーで講演を行い、議論に熱中するあまり座長に質疑応答の時間の延長を要求したりして、その健在ぶりをアピールしていたのが印象的であった。コーヒープレイクにはコーヒーだけではなくオレンジジュースも用意される。そして紙コップ片手にあちらこちらで熱心な会話が交わされる。各研究者がこの時間を情報交換の場として有効に利用している様子は、海外の学会に初めて出席する筆者には印象深かった。

5. セッション12: 衛星搭載降雨レーダー

古津 年章・熊谷 博

地球規模の気候変動の研究の基礎となる全世界の降雨量分布を定量的に求めるため、またENSO、モンスーン等熱帯・亜熱帯降雨と密接に関係する気象現象の解析に役立てるために、衛星からの降雨観測が近年注目を集めている。衛星搭載降雨レーダーはまだ実現していないが、陸上・海上の降雨いずれに対しても定量的観測が可能なこと、降雨構造の解析や潜熱放射の垂直分布の推定の基礎となる降雨の高度プロファイルが求められること等の特徴を持つため、衛星からの降雨観測に不可欠のセンサーとして現在わが国をはじめ、米国、フランス等で活発に研究が行われている。本セッションではこのような状況を背景とし、計8件の研究成果が発表された。

降雨測定アルゴリズム関係：レーダーで観測された降雨領域×時間と赤外センサーで観測された雲の領域に対する同様の関係に関する解析、レーダーによる雨滴粒径分布推定手法の提案（2件）、ステレオ観測による降雨強度推定手法の提案、航空機実験データを用いた降雨強度プロファイル導出手法の試験結果、航空機搭載偏波レーダーによる台風観測実験結果の計6件。

衛星搭載レーダーの開発：現在我が国（宇宙開発事業団及び通信総合研究所）で開発中の熱帯降雨観測衛星（TRMM）搭載レーダー開発状況の紹介。

衛星観測の地上検証：現在 NASA が進めている TRMM のための地上検証プロジェクトの紹介。

上に示したように、本セッションでは測定アルゴリズム関係の発表が多くを占めていた。1996年頃打ち上げ予定の TRMM レーダーは1周波レーダーであるが、将来は多周波・多偏波観測等、マルチパラメータレーダーが衛星搭載システムにも適用できると考えられ、本セッションで発表されたアルゴリズムを含め、先行的に研究を継続することが重要と考えられる。また、近年米国を中心に精力的に研究が行われている、100 km×100 km 程度以上の領域の平均降雨強度あるいは降雨量を統計的に推定する手法も今後衛星搭載レーダー観測におけるひとつの有力な手法となると思われる。

本セッションでの発表は日本（3件）、米国（3件）、フランス（2件）の3カ国で占められ、現在のこの分野のアクティビティの状況を反映したものととなった。今後、TRMM 及びそれに続く次期の降雨観測衛星に向けて、これら3カ国をはじめとする国際協力の重要性和共に、わが国として主体性を持ってこの分野の研究・開発を進めてゆく必要性を認識した。

6. バンケットにいたるまで

城岡 竜一

レーダー気象学会議での発表は米国が半分、その他に地元のフランス、日本、ソ連、英国、カナダ、イタリア、中国、スイス、台湾、ドイツ、オーストラリア、スウェーデン、ポーランド、アルゼンチン、フィンランド、ルーマニア、ブラジル、インド、イスラエル、オランダなど、非常に広範囲に及び、まさに国際会議の名にふさわしいものであった。会議の公用語は当然のごとく英語なのであるが、初めて国際会議に出席した者にとっては、フランス人の話す英語は限りなくフランス語に聞こえ、英国人の話すのが英語であって、我々が勉強していたのは米語であったことを思い知らされた。

会議全体を通して受けた印象について報告する。まず、ドップラーレーダーに関しては、レーダー気象学会議だけあって、PPI の速度パターンディスプレイを示すだけで議論を進めることができることに、研究の層の厚さのようなものを感じさせられた。複数のドップラーレーダーを用いたストーム内の気流系の解析は一段落

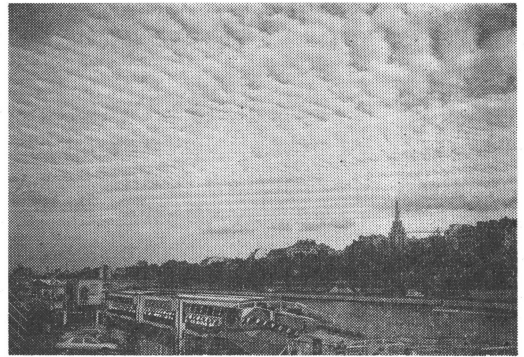


写真 2 バンケット会場の遊覧レストラン船。
(撮影：高橋)

し、NEXRAD や TDWR を念頭においた、1台のドップラーレーダーの運用法やナウキャスト、データの表示法などにも力点がおかれていた。

講演の件数や聴衆の数などから考えると、レーダー気象学における研究の中心は、偏波・2波長などのマルチパラメータレーダーを用いたストームの内部構造の解明などへと変化しているように感じられた。偏波レーダーに関してはハードウェアの面からの発表も多く、また、雲物理的な見方や降水量予測など、様々なアプローチがみられた。解析の主力としての Z_{DR} には、一定の評価が与えられており、多くの実際的な研究がなされていた。しかし、送信・受信の偏波面や位相などを見ることにより、非常に多くの要素が測定可能となっているが、それらのうち何を選択するとストームの内部構造の把握や降水量の推定に有効となるのかは、いまだに明らかではないようで、新しい試みが数多くなされていた。

ウインドプロファイラー関係では技術的な面での問題はおおよそクリアされ、ヨーロッパでは実際の運用を考えた研究がなされていた。今後は、時間分解能の高いプロファイラーデータを気象学としてどの様に利用していくかが問題となるであろう。

初日の夜にはたくさんアルコールとオードブルによるアイスブレイカーが開催され、いままで論文でしか知らなかった世界のピクネームの顔を見ることが出来たことは大きな収穫であった。2日目の夕方に設定されたポスターセッションの時間帯は口頭発表と重なることはなく、ホールでワインとチーズなどのオードブルがふるまわれ、グラスを傾けながらのディスカッションが盛んに行なわれていた。3日目の夜に行なわれたセーヌ川に浮かぶ船上(写真2)でのバンケットでは、フランスの気

象局の方々も家族連れで多数参加され、船を一艘借り切ったの盛大なものとなった。地元パリの人が、我々には英語でアルゼンチンから来られた方にはスペイン語でパリの観光案内をされており、日本語とフランス語を交えて一つのテーブル上で4カ国語が飛び交っていた。真の国際交流とはこういったところから始まるのであろう。

今回の学会出席にあたり、日本気象学会の国際学術交流基金から出席補助金を頂いたことを感謝いたします。

7. はじめての国際会議にて

高橋 暢宏

私にとって今回の会議が国際会議というものに初めて参加する機会であり、かつ、初の海外旅行であった。そのため、不得意な英語に関しては言うにおよばず、自分の発表内容に関しても不安感をいだきつつ日本を出発した。しかし、発表の進行や会議全体のスケジュールなどが充実していて、かつ、ゆったりしていたので、すぐにその雰囲気になれることができた。

さて、今回の会議で、多くの時間をさかれた NEXRAD、TDWR や偏波レーダーについての紹介は他の人に譲るとして、その他の自分で興味をもった内容に関して述べたい。まず、ポスターセッションでは、NCARのグループによるリアルタイムのデュアルドップラー解析とそのディスプレイ、オクラホマ大学のグループによる4次元の風の場のディスプレイ等のコンピューターグラフィックスを駆使したものが多く発表されていたデータの可視化のセッションが興味深かった。

口頭発表に関しては、セッション20の解析法Ⅱで、1台のドップラーレーダーの解析法に関連して、合成デュアルドップラー解析、風の場のリトリバル法及び筆者の発表した水平風の推定法などがあった。また、トリプルドップラーレーダーに関して、レーダーの配置の違いにより生じるエラーの見積りについての発表があった。

この他、C. Wang (台湾国立中央大学) らによる梅雨期の豪雨の1台のドップラーレーダーによる解析例の発表があり、自分の研究と同じ分野であるため参考になるところが多かった。

今回の会議に参加したことによって、気象レーダーの最先端の技術や新しい研究にふれることができ非常に有意義であった。

8. 雷関連研究について

道本光一郎

<セッション30: ストームとメソ対流システムの雷電>

レーダーを用いた雷に関する研究発表は、雷雲規模から地球規模のものまで広い範囲にわたって紹介された。このセッションにはアメリカから5題、日本から1題の計6題がエントリーされており、そのうち5題の発表がなされた。通常の雷に関する研究発表の2分の1から3分の1程度の件数であり、少々寂しい感じがした。

S.A. Rutledge (コロラド州立大) はオーストラリアにおいて、熱帯スコールラインをレーダーで観測して、その電気的な研究を紹介した。

E.R. Williams (MIT) は熱帯の対流雲の構造を解析して、それらによる地球規模の電気循環の模様を紹介した。

Buechler and Goodman (米国航空宇宙局) はフロリダにおける落雷をもたらす雷雲をレーダー観測して、その色々な特徴を紹介した。

P.R. Krehbiel ら (ニューメキシコ工科大) は波長3 cm の2偏波レーダーによって雷エコーと降水列の観測結果を紹介した。

筆者らは北陸地方の冬季雷雲下を車載電界計によりその変化を観測し、雷雲のレーダー観測と照合した解析結果について紹介した。

R.E. Lopez ら (米国海洋大気庁環境研究所) はフロリダの積雲対流システムの雷活動と降水の変化についてエントリーしたが発表はなされなかった。

他の雷関係の発表は、セッション2の短時間予測技術と予報システムで、フランスの P. Richard (ディメンション社) がサフィール・システムを用いた雷やシビアウエザーの短時間予測方法を紹介した。サフィールとはVHF波を用いた電波干渉式測定による雷放電源探知システムであり、日本では大阪大学と関西電力が共同で昨冬から若狭湾付近で試験観測を行なっている。夏季雷はもちろん冬季雷に対してどれほど有効であるか、今後の成果に期待したい。

雷関係の発表は全部で6題と少なかったが、新しい研究成果が各所に見られ、今後の観測研究の方向付けが指示された感じがする。

9. 航空気象学会議の話題から

石河 直樹

航空気象学会議は分科会、ポスター、レーダー気象学会議とのジョイントセッション等16セッションに細分さ

れ、更に併設展示(24社)、サイト見学(音波レーダー)と盛り沢山のスケジュールであった。発表件数は120件であり、31ヶ国432名の参加があった。

予報に関する発表としては「FAA(米国連邦航空局)の予報新時代」と題してのパネルディスカッションがよく集約されていた。米国の民間航空機に関する年間事故発生率の40%、民間航空定期便の遅延ケースの50%が気象に起因するものとのこと。近年話題の主なUHFウィンドプロファイラー、ASOS(地上気象自動観測網)、TDWRを合衆国中心部に展開し局地の短時間予報の精度を向上させるプログラムがスタートしたとの紹介があった。航空の安全性と経済性の向上のために新しい測器、電算処理、高速通信システムの急速な進歩を取り込んで、予報の新時代を向かえつつあるとの結論である。

空港内気象情報集積システムについては、Av-Wx Product Generator(航空気象情報作成装置)及びIntegrated Terminal WxSystem(空港内気象情報統合システム)を始め米国、イギリス、カナダ、スウェーデン等から自国のシステムの紹介等多数の発表があった。日本でも気象庁が成田空港等に新規導入した「空港気象常時監視システム」がこれらの発表の内容と同等あるいは同等以上の性能、規模を有していることから興味深いものであった。各発表とも、航空の安全性、経済性向上の鍵はエンドユーザーに対する情報提供の方法にあるとの認識に立っていることを示していた。

測器については、現在日本で話題を独占している感のあるTDWRもさることながら、マイクロバーストセンサーとしてはLLWAS(地上配置の風向風速計群による低層ウィンドシア-警報システム)も健在であるとの発表や、斜視程計が再びアトランタのジョージア工科大学で実験されているとの報告も見逃せないものであった。

最終日、FAAのGoffが座長を務めたセッションでは、「今回のテーマがあまりにもFAAのビッグプロジェクト(例えばTDWR)に集中してしまい、RVR(滑走路視距離)の観測センサーが透過率計から前方散乱計に変更された経緯等、FAA関係者以外の参加者が興味を持っているテーマがなかったのは残念だった」との筆者のコメントに対し、フランス、イギリスからも同じ主旨の意見が出され、協議のうえ別の機会を考慮するとのアナウンスがあった。

10. 航空気象学会議に出席して

並沢 浩

航空気象学会議は、口頭発表の各セッションをはじめ、ポスターセッション、レーダー気象学会議とのジョイントセッション等々盛り沢山の内容であった。

セッションは、航空機に影響を及ぼす気象現象の探知や予報に関するものをはじめ、ユーザーを対象にした教育システムや情報伝達システムの研究・開発に関する分科会や経済的影響に関する分科会など、多岐にわたった。また、レーダー気象学会議とのジョイントセッションでは、TDWRとマイクロバーストが取り上げられた。

筆者が発表したセッション、「航空機の運航に危機を及ぼす気象現象」では、14件の講演が行なわれ、ガストフロント・下層ジェット・晴天乱気流という風現象をはじめ、雷、ひょう、火山灰等に関する発表があった。筆者は、1990年7月に筑波の気象研究所の観測鉄塔を通過したガストフロントの報告を行なった。発表の最後のほうで、ガストフロント通過時の風速の高度時間断面図を1秒間平均風・5秒間平均風など、さまざまな時間平均風で示し、離着陸時の航空機への風の影響を考えるにはどの程度の時間分解能で風を測るべきなのかという問題について参加者の見解を求めた。質疑応答の時間では、観測データを提供する立場あるいはデータを利用する立場から多くの発言があり、この問題の関心の高さを感じることができた。

航空気象学会議は初めて参加したが、レーダーやソーダー、視程計など、筆者の仕事と関わる観測システムの研究者やユーザーと意見を交換できたことは大きな収穫であった。

出席に際しまして、日本気象学会の国際学術交流基金から補助金をいただきました。ここに記して感謝いたします。

11. おわりに

上田 博

会議全体の雰囲気伝えるために、多くの筆者の種々の角度から報告を並べた。そのために、発表内容の詳細については伝わらない部分もでてと思われる。この点については筆者の誰かに、プロシーディングスの一部の写しを請求していただくことで補っていただきたい。

会議出席者は共通して、航空気象も念頭においた、日本におけるレーダー気象学研究の一層の推進の必要性を痛感した。関係各方面の方々のご支援をお願い致したい。