

氏名・(本籍)	はら 原	ただ 忠	よし 徳
学位の種類	理	学	博 士
学位記番号	理 第	6 4 5	号
学位授与年月日	昭 和 55 年	5 月	28 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当		
最 終 学 歴	昭和 38 年 3 月 東北大学理学部卒業		
学位論文題目	UT1-TAI の研究		
論文審査委員	(主査) 教 授 菊 池 定 衛 門		
	教 授 高 窪 啓 弥 教 授 高 橋 真 一		

論 文 目 次

第 1 章 まえがき

第 2 章 時計比較

2-1) 短波標準電波 JJY5MHz の小金井-水沢間の伝播時間の変動

2-2) 超長波 (VLF) 電波の位相変動

第 3 章 UT1 の変動

3-1) 数値フィルター

3-2) UT1 の準 2 年周変化

3-3) UT1 の年周変化

3-4) UT1 の半年周変化

3-5) UT1 の 1 月変化

第 4 章 地球自転速度におよぼす大気角運動量の影響

4-1) 基本的な関係式

4-2) 気象資料

4-3) 年周変化

4-4) ヒマラヤ-チベットとロッキー山脈の ϕ_3 におよぼす影響の比較

4-5) 半年周変化

4-6) UT1 の年周変化におよぼす地表摩擦と山脈トルクの影響について

第5章 むすび

論文内容要旨

本研究は TAI (国際原子時) の確立および TAI の利用に必要な時計比較に関する問題, TAI を基準時計とした UT1 (世界時 1) の非定常性に着目した観測事実の提示, UT1 の季節変動と関係が深い大気角運動量変化に関するものである。

天文観測は各天文台で夫々独立した時計を基準にして行われている。これらのデータを基にして確定世界時を求めるためには, 世界共通の時計を基準にした値に引き直す必要がある。この世界共通の基準時系は各観測所の時計の平均値から求められる。これらの作業をする際に, 時計の国内および国際比較が必要不可欠となる。ここでは, 短波と超長波電波を使用した時計比較において生ずる時計比較精度劣下の原因解明等の研究について述べる。

UT1 の観測が始って以来, 短波を利用した時刻比較が行われて来た。しかし, その伝播時間は送受信点間の大円距離のみで決まる実験式 (A. Stoyko, 1956) で計算され補正されていた。電離層の反射高の季節変化によって伝播時間にも季節変化が生ずるであろうことは予期されていたのであるが, 実証することは出来なかった。1967 年頃になって緯度観測所と電波研究所でセシウム原子時を設置した。受信機も長波, 超長波, Loran C 受信機を設置したことにより, 時計自身の安定度が向上するとともに, 時計比較精度も短波によるものより一桁向上した。1971 年電波研究所グループは緯度観測所における 1 年間の JJY の受信値から月平均値を求め, JJY の伝播時間に年周変化が存在することを見出した。原, 他 (1972) は 1968 年 2 月から 1971 年 4 月までの期間について JJY の毎日の受信値から, JJY の伝播時間に年周変化が存在し, この季節変化は年々大体同じ値を繰り返すことを見出した。その振幅は $30 \mu\text{s}$ であり, 実高反射高の変化は 9 km に相当する。この遅延時間の年周変化の最大となる位相は冬至の約一週間後である。月毎に求めた標準偏差は大体 $\pm 10 \mu\text{s}$ から $20 \mu\text{s}$ である。最悪の場合でも $\pm 30 \mu\text{s}$ である。これらのことから, 水沢-東京 (小金井) 間の時刻比較精度は, UT1 の研究には十分な精度に達していることが解った。しかし, TAI を計算するときには補正しなければならない量である。1955 年から TAI-UT1 の資料が BIH (国際報時局) から発表されるようになったが, 超長波による時計比較が導入される以前 (1964 年以前) の資料は上述の補正を加えて再計算することが望まれる。

短波に代って VLF 電波が周波数比較のために使用されるようになってから, 時計比較精度が数桁向上した。しかし, VLF 電波も電離層電播であるから, その影響を受け時計比較に誤差を生ずる。本節においては, 下部電離層変動の原因についての考察がなされる。そして VLF 電波 NLK (18.6 KHz) の水沢における受信値とアメリカ海軍天文台におけるオメガ電波の受信値から次の結論が得られた。下部電離層の日変化および季節変化は太陽からの EUV 放射束の変化による光電離の変化のみからは説明出来ず他の要素を加味しなければならない。

更に, BIH 発表の UT1-TAI とアメリカ海軍天文台における VLF 電波 NLK の受信値につき, 夫々を数値フィルターにより 60 日前後の周期成分を調査し, 63 日頃に共通した変動が見出

された。これは成層圏の中性大気運動と下部電離層の力学的相互作用を示す一つの事実である。

また、水沢で受信した NLK の資料から次の結論を得た。(Hara and Horiai, 1979)

1) 夜間の Primary storm effect は地磁気嵐の主相(水平分力の減少値 70γ) から約 2 時間遅れて ($18\mu s$) 位相進みが存在する。

2) 昼間における Primary storm effect が始めて観測された。

3) 地磁気 Pi pulsations に併なった Sudden phase Anomalies が VLF 受信では始めて観測された。

4) Storm after effect は地磁気緯度が $55^\circ N$ 付近で生じている。

TAI の構成およびその利用に関連した問題の取り扱いを終って、次に UT1 自身の問題について述べることにする。

BIH 発表になる UT1-TAI のパワースペクトルを取った時に、年周、半年周、1 月および半月項が明瞭に現れる。これらの項と準 2 年周項が時々刻々変化している様子を数値フィルターにより抽出して提示した。

UT1-TAI の準 2 年周項は 1956 年から 1964 年までは約 2 年の周期が明瞭であるが、それ以後は周期がかなりのびている。振巾も年々激しく変動して最大 40 ms に達する。特に、1971 年に大きな変動が現れた。

年周振巾は 1957 年から 1964 年までは大体大きな値を持っているが、それ以後 1973 年までの振巾は比較的小さい。但し、1957 年と 1962 年は 1965 年以後の振巾と同程度である。

半年周変化は、年周変化と逆に、1956 年から 1961 年までは振巾が小さく、それ以後 1973 年までは大きい。しかし、全変動巾は 6 ms に達する。この振巾変動の周期は準 2 年周変動が明瞭に現れている時期には 2.5~3 年で準 2 年振動の周期に近い。

Mm 項にも 60% 程度の振巾変動が存在し、この項を励起している原因が地球潮汐の他にも存在していることを示唆している。Mf 項と 13.63 日項の beat 現象が明瞭に検出された。Mm 項と同様に海洋潮汐等の影響と思われる不規則な変動が見られた。またこれらを分離して、13.63 日頃から Love 数が始めて求められたが、 $K=0.44$ と可成り大きい。

さて、UT1 の季節変化は固体地球と大気を含めた全角運動量が保存される形で生じていることが、従来の研究から解っている。ここでは、大気角運動の 5 日平均値から数値フィルターにより抽出した季節変化の振巾が、緯度、経度、高度でどのように分布しているかを詳細に調べ、更に、大気と固体地球の角運動量の交換機構の問題について述べる。解析に使用した気象資料は米国 National Climatic Center の rawinsonde による 1964 年から 1970 年までの観測資料で

ある。そのうち、北半球の約 250 観測所の資料が利用された。先ず、年周変化について述べる。

高度を 13 層、緯度方向には 4 地域に分けて単位体積あたりの帯状風による励起関数 ϕ_3 の分布を調べた結果は次の通りである。但し、 ϕ_3 は夫々の緯度帯の大気が単位厚さで地球を取り巻いている場合の励起関数である。

振巾の大きい所は中緯度の圏界面付近と赤道帯の地表近くである。しかし、これらの位相は互に逆である。このことは従来から大気大循環で解っていることと変わらない。

中緯度を 17 地域に分けて調べた ϕ_3 の緯度高度分布からは次のようにいえる。

ϕ_3 の振巾の大きいのは 90°W , 60°E , 150°E の 3 地域であり山脈の影響が強く現れている。ヒマラヤ-チベットとロッキー山脈の影響の大きさを比較すると、ヒマラヤ-チベットの方が 4 ～ 5 倍大きい。 ϕ_3 の年周振巾の位相は経度により 90° 以上もずれることがある。

前節と同様にして、 ϕ_3 の半年周振巾の緯度-高度分布が調べられた。年周項とは異なり、最大振巾は熱帯地方の 400 mb 層に現れ、位相は UT1-TAI の時間微分したもの (m_3) と合っている。中緯度における振巾は小さく、むしろ高緯度の方が大きいという特徴を持っている。

経度方向の分布は年周項と似ていて、二大山脈の影響が強く現われている。

Lambeck and Cozenave (1972) の結果では大気による励起関数の半年周項は m_3 より遅れているが、この結果では進んでいる。

Garratt (1977) の drag coefficient, C_D を使用して地域毎の地面摩擦トルクを求めた。地域毎に位相振巾共に異っているが、全体を合計すると低緯度東風帯で大気が角運動量を得ている。一方、Oort and Bowman (1974) が求めた山脈トルクは、全体としてみると、大気は固体地球に角運動量を与えていることが分る。この両者は地球自転速度の年周変化を同位相で励起している。地面摩擦と山脈トルクによる励起関数 ϕ_3 は夫々 2.4×10^{-9} および 8×10^{-9} であり、後者が前者の約 3 倍大きい影響を持っている。

論文審査の結果の要旨

本研究は TAI (国際原子時) の確立及びその利用のために必要な時計比較に関する研究と TAI と UT1 (世界時 1) との差の観測とその結果の詳細な検討である。天文観測は世界各地の多くの天文台に於て夫々独立した時計を基準にして行われているが、確定世界時を求めるためには、散在する天文台の観測結果を集積し、その平均値を求めねばならない。この作業を精密に行うためには電波発信機、受信機内の時間差と送受信地点間の電波伝播時間とを考慮しなければならないが、この時間は刻々と複雑な変化を示めている。在来はストイコの実験式によって補正されていた。電離層の反射高の季節変化に応ずる伝播時間の季節変動の存在は予想はされていたが実証されえなかった。原忠徳その他は 1967 年頃より緯度観測所と電波研究所にセシウム原子時計を設置し、受信機も長波、超長波、Loran C に対するものを設置し在来の短波による観測を一桁向上させ、1968 年 2 月より 1971 年 4 月までの期間について電波研究所より発する標準電波を水沢に於て観測し、伝播時間に年周変化のあることを実証した。その振巾は $30\ \mu\text{s}$ であり電離層の実効反射高の変化は 9 km に相当することを見出した。またアメリカ海軍天文台より来るオメガ電波及び超長波電波の観測により下部電離層の日変化及び季節変化は太陽からの極端紫外線による光電離だけでは説明し得ないもののあることを確めた。更に、原忠徳は国際報時局発表による UT1-TAI のパワースペクトルの解析に当り数値フィルターを用い、年-、半年-、1 月-及び半月項の存在を在来の最小二乗法によるものよりも明瞭に抽出することに成功した。また固体地球と大気との角運動量の交換機構について北半球の約 250 個所の観測所からの気象資料を基に研究し、UT1-TAI との関連を調べた。原忠徳は永年にわたる多くの観測及びその困難な整理解析に多大の貢献をしており自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識あることを示めた。よって原忠徳提出の論文は学位論文として合格と認める。