



ITUにおける協定世界時(UTC)の将来問題について



国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) 電磁波計測研究所 研究マネージャー

いわま つかさ
岩間 司

1. はじめに

2015年世界無線通信会議 (WRC-15) において、現在の協定世界時 (UTC: Coordinated Universal Time) の次の標準時系についてITU-R以外の関係機関等の意見を幅広く集めWRC-23までに提言を行うこと、またWRC-23までは現行の協定世界時を維持することが決議された。

これで1999年に米国からUTCの将来問題に関する入力文書から開始された17年間にわたるうるう秒に関する議論に一応の区切りがついたことになる。そこでこの機会にUTCの将来問題に関する議論について長く携わっていた関係者として、筆者の知る範囲でこれまでの経緯と今回の決議についてまとめておく。

2. UTCとうるう秒

2章では、ITU-Rにおける議論を理解する上で参考となる基礎的な事柄について記述する。

2.1 天文時と原子時

今回の問題を考察するにあたり、「時」というものの考え方について簡単にまとめる。

時の概念は人類が生活するためのリズムの中から発生した。旧来、人類の生活リズムは、昼と夜といった地球の自転に基づくものから、季節や暦などにみられる地球の公転によるものまで、地球の回転 (自転・公転) に基づくリズムが基本であった。

この地球の回転に基づく時を天文時という。これら天文時は、はるか昔から生活に密着した時刻として使われ続けている。そして1956年以前は、1秒は地球の自転を基にして平均太陽日の86,400分の1であった。

一方、1900年代に入り科学技術が発達してくると、地球の自転速度は潮汐摩擦などの影響によって一定ではないことが判明した。秒は度量衡の七つの基本単位の一つであり、その値は科学技術の発展に大きな影響を与える。このため、当初は自転速度よりも変動が少ない地球の公転を基にした暦表時を基準とした秒の定義が1954年の国際度量衡総会 (CGPM: General Conference on Weights and Measures) の決議に基づいて1956年の国際度量衡委員会 (CIPM:

International Committee for Weights and Measures) で採用され1960年に批准されたが、1967年のCGPMでセシウム原子の遷移周波数から求める秒の再定義に変更となった^[1]。ここでは秒の定義自身は天文時から原子時に変更となったが1秒の大きさについては9桁の精度で以前と変わらないよう保たれた。

以降、このセシウム原子の遷移周波数から求める1秒が国際単位系 (SI: The International Standard of Unit) で定義される1秒である。また、SIで定義される1秒を積算する時系が原子時である。

今後使われる用語のうち、世界時UT (Universal Time) は天文時、国際原子時TAI (International Atomic Time)、UTC及び日本標準時JST (Japan Standard Time) は原子時である。

2.2 時系と時刻情報

ITU-RでUTC関連の文書において、頻繁に用いられる時系 (time scale) と時刻情報 (time signal) の用語であるが、正しい意味が理解されにくい。この二つについては座標と座標上の特定の一点と考えればわかりやすい。

2.2.1 時系 (time scale)

図1は天文時系であるUTと原子時系であるTAI及びUTCとの関係を示している。ここでUT、TAI及びUTCは時系 (time scale) である。

原子時系であるTAI及びUTCの時系としての基準は1958年1月1日0時0分0秒であり、この時刻に天文時系である世界時と時刻 (原点) を一致させ、以降、SIで定義される1秒で時刻を刻んでいる。

TAIは1958年1月1日以降、1日を86,400秒として連続して正確に時刻を刻んでおり、図1上部に黒い直線で示されている。一方、天文時は地球の自転を基準として時刻を定めているので、潮汐摩擦などの影響によって地球の自転速度が変化するため、長期的に観測すると一定ではなく、図1に示す1958年以降は徐々に遅くなってきている。図1の中では黒い点線で示されている。

図1の中でTAIから整数秒遅れ、UTとの差が0.9秒以内を

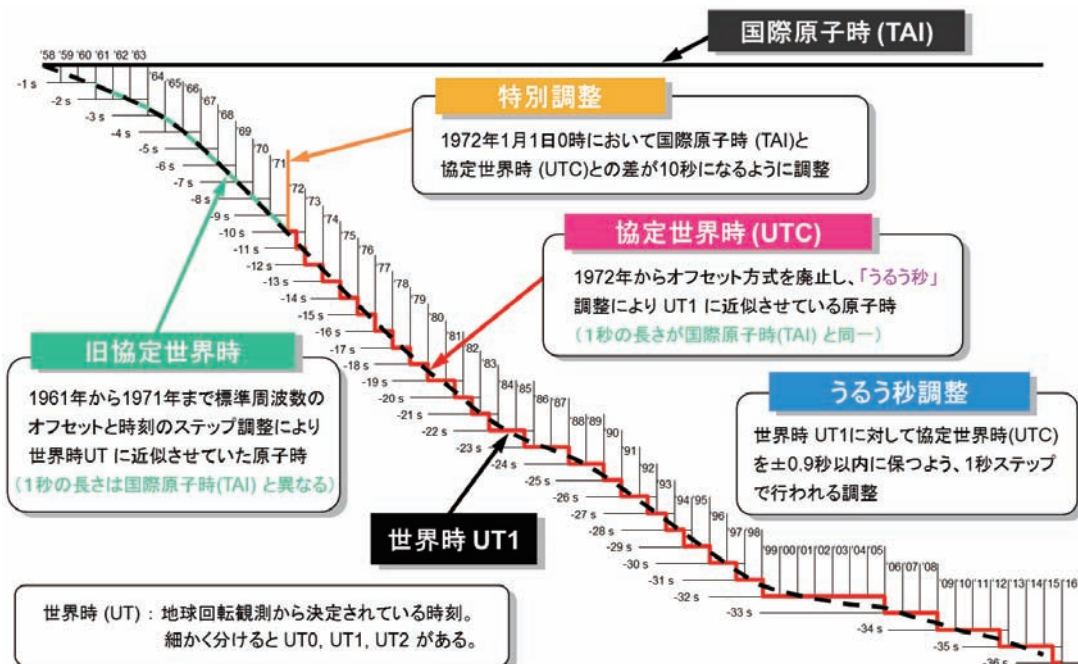


図1. 様々な時系

維持している赤い実線で示される原子時系がUTCである。図1から分かるようにUTCはTAIと並行、即ち、1秒の長さは等しいが、UTとの時刻差が0.9秒以内になるよう不定期に1秒時系がシフトする不連続な時系である。

この不定期に挿入されている1秒のシフトがうるう秒である。これらの時系についてはITU-RではITU-R勧告TF.460-6のAnnexに記述されている。

勧告TF.460-6に記述されている要点をまとめると以下のようになる。

○世界時 (UT)

UTは地球の回転 (自転) に基づく天文時系であり、UT0は天文台の観測から得られる本初子午線における平均太陽時、UT1はUT0から極運動による効果を補正して計算された天文時系である。

○国際原子時 (TAI)

SIによる1秒の長さはセシウム原子の特定の振動周期から定義される。TAIとは1958年1月1日0時にUT1と一致させ、以降1日を86,400秒として積算した連続な原子時系であり、国際度量衡局 (BIPM: International Bureau of Weights and Measures) によって維持・管理される時系である。

○協定世界時 (UTC)

UTCは、ITU-Rによって定義され、国際地球回転・基準系事業 (IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Service) の協力を得てBIPMが維持する時系で、標準周波数及び時刻信号の供給の基礎となるものであり、TAIと正確に一致し、整数秒だけ時刻が異なる。UTCはうるう秒の削除あるいは挿入によりUT1と近似的に一致するようにする。

○うるう秒

- ・うるう秒は、協定世界時UTCと世界時UT1との差が0.9秒以上開かないように、UTCに対して1秒単位で挿入または削除する秒である。
- ・うるう秒調整は、第1優先順位として12月または6月、第2優先順位として3月または9月の最後に調整を行う。
- ・うるう秒挿入は、月の最後に23時59分60秒が挿入され次の0時0分0秒から次の月の最初の日が始まる。
- ・うるう秒削除は、月の最後が23時59分58秒で次の0時0分0秒から次の月の最初の日が始まる。
- ・IERSは実施の少なくとも8週間前までにうるう秒調整実施の告知をアナウンスしなければならない。

注意すべき点として、ITU-R勧告TF.460-6で規定される



図2. 2015年うるう秒挿入時の時刻

UTCは概念的な時系であり、物理的な時系として存在するUTCは各国の時刻標準機関が生成するUTC (k) であることである。日本では国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT: National Institute of Information and Communications Technology) が生成する協定世界時UTC (NICT) がこれに当たる。更にこのUTC (NICT) を9時間 (東経135度分の時差) 進めた時系が日本標準時である。

これは今回のWRC-15のプレナリなどでも議論となったstandard time scaleとreference time scaleの違いに対応する。UTC自身はstandard time scaleであるが物理的に存在する時系ではなく、無線通信など実社会でリアルタイムに用いられているUTCはUTC (k) であり、UTC (k) は不確かさ (uncertainty) を有するreference time scaleである。

2.2.2 時刻信号 (time signal)

時刻信号 (time signal) はある時点における時刻を示す情報であり、時系によって異なる値となる。簡単で分かりやすい例を図2に示す。

図2は日本時間2015年7月1日のうるう秒挿入時の時刻表示である。上から日本標準時、UTC (UTC (NICT))、TAI (TAI (NICT)) で表した時刻である。時刻自体はどれも同じ時刻であるが時系により表記が異なっている。時刻信号 (time signal) を報時する際にはどの時系 (time scale) に基づく時刻かを明記する必要がある。

2.3 UTCの通報

UTCとTAIは、同じ原子時系であり、うるう秒の有無だ

けの違いに見えるが、一番大きな違いは時系が広く一般に供給されているかどうかである。

TAIはCGPMによって定義されるSIの秒を維持するための原子時計の基準となる時系である。そのため、度量衡としての時間・周波数のトレーサビリティのために用いられ、一般に通報されることはない。

一方、UTCは、元々ITU-R勧告TF.460-6で勧告されているように、標準周波数と時刻信号を通報するための基準であり通報する際の精度も定義されている、供給を前提とした時系である。

実際に通報を行っている地上系の標準局の情報はITU-R勧告TF.768-7のAnnexに、それぞれの標準局の送信するタイムコードについてはITU-R勧告TF.583-6のAnnexに記載されている。これら二つの勧告のAnnexは標準局の仕様等の変更などに素早く対応するため、通常のDocument形式ではなく、ITU-RのSG7 (Study Group 7: 科学業務に関する研究委員会) のホームページ上でweb公開され、担当ラポータによって管理されている。

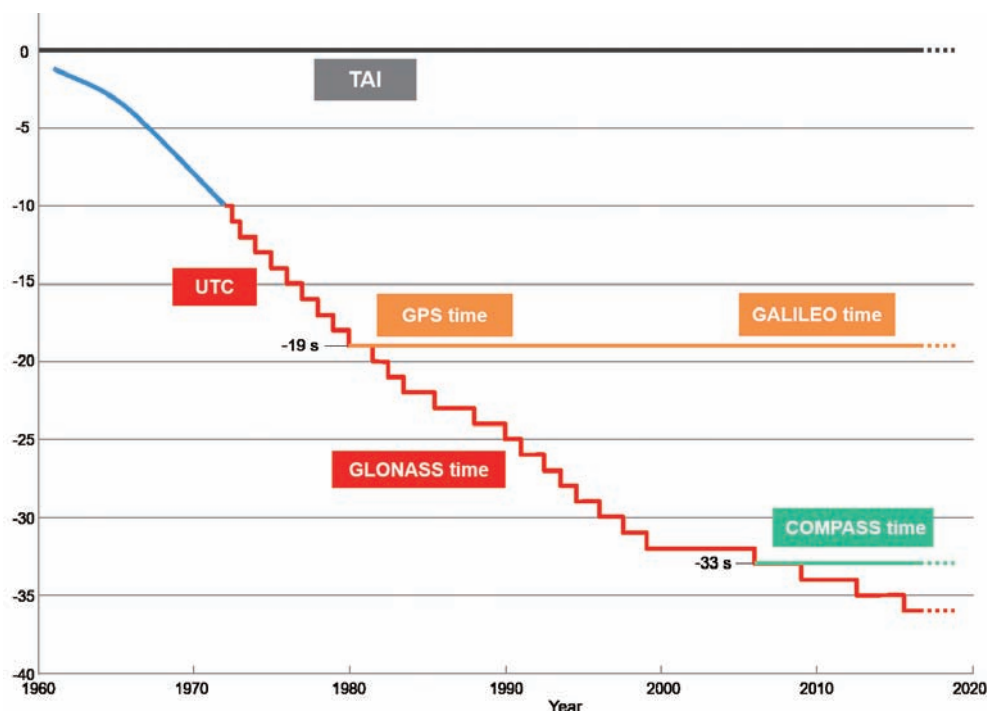
また、ITU-R勧告TF.768-7のAnnexには、地上系の標準局のほかにナビゲーションシステムの基地局に関する情報も掲載されている。これは、UTCの大きな目的の一つにナビゲーションシステムへの情報提供の側面があるからである。前記の二つのAnnexの情報をを用いることで地球上のどこにおいてもUTCの情報を入手でき、これに天文測量の情報を組み合わせることにより、公海上や砂漠の真ん中においても自身の位置を知ることができる。これは現在のように衛星によるナビゲーションシステムが発達していなかった時代にはUTCの重要な役割であり、天文測量と組み合わせたナビゲーションを行うためにもUTCは世界時UTに準拠する必要があった。

2.4 GNSSで用いる時系

1978年に米国のGPS (Global Positioning System) が運用を開始して以降、様々な全地球航法衛星システム (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) が実用化されてきた。

GNSSは原子時計を搭載し、高度約2万kmの軌道上を周回しており、地上系のシステムよりも電波のじょう乱が少ないため、高精度の測地情報を入手でき、航法システム以外に高精度な時刻情報源としても利用されている。

ただし、GNSSにおいては図3に示すように、時系にUTCを用いているのはGLONASSのみである。例えば、GPSとGALILEOではTAIから19秒遅れた連続時系、COMPASS



■図3. 様々なGNSS時系

では33秒遅れた連続時系である。

GLONASS以外のGNSS系ではUTCとの差分情報も提供されるため、受信機側でUTCとの差分情報を用いてUTCを計算している。このため、うるう秒調整時にはUTCとの差分情報の適用のタイミングによってUTCと時刻がずれる場合があるので注意が必要である。

3. SG7及びWP7Aにおける議論

3.1 UTCの導入から2000年まで

UTCの議論の背景として、第2章でも触れた20世紀後半のITUとCGPM等における時刻関連の動きを表1にまとめる。

UTCは1970年のCCIR (International Radio Consultative Committee) で承認された勧告460により1972年に導入された。その後、天文時に1秒以内で一致しているUTCは各国で様々に利用されるようになり、1975年のCGPMでは以下のような決議が行われた。

○第15回CGPM 決議5^{[2] [3]}

「協定世界時」(UTC) と称される時系が、極めて広く使用されていること、その時系が多くの場合、報時発信局によって放送されていること、かつ、その放送が利用者に対して、同時に標準周波数、国際原子時及び近似的な一

■表1. 2000年までのUTC関連の出来事

西暦	出来事
1956	歴表時による秒の定義 (CIPM) 秒は、暦表時の1900年1月0日12時に対する太陽年の1/31 556 925.9747倍である
1960	歴表時による秒の定義の批准 (CGPM)
1967	原子時による秒の再定義 (CGPM) 秒は、セシウム133原子の基底状態の二つの超微細準位の間の遷移に対応する放射の周期の9 192 631 770倍の継続時間である
1970	勧告460の成立 (CCIR) 世界中で報時する時系としてUTCを定義
1972	UTCの導入
1975	GGPMによるUTC利用の推奨 第15回CGPM 決議5
1979	無線通信規則 (Radio Regulations : RR) へ記述 (WARC)
1999	UTCに関する研究課題を米国が入力

つの世界時 (又は平均太陽時としてもよい) を提供していることを考慮し、この協定世界時が、多くの国で法定常用時の基礎となっていることを確認し、この使用が十分に推奨に値するものであると評価する。

このCGPMの推奨により、UTCの利用は無線通信に限らず広く一般に普及することとなった。

1972年のUTC導入時にTAIから10秒遅れた時刻に調整して以来、うるう秒調整は表2に示すように2016年までに



■表2. これまで実施されたるうるう秒調整（日本時間）^[4]

第 回	年 月 日	うるう秒	UTC-TAI
26	2015 年 7 月 1 日	+1 秒	-36 秒
	2014 年	—	
	2013 年	—	
25	2012 年 7 月 1 日	+1 秒	-35 秒
	2011 年	—	
	2010 年	—	
24	2009 年 1 月 1 日	+1 秒	-34 秒
	2008 年	—	
	2007 年	—	
23	2006 年 1 月 1 日	+1 秒	-33 秒
	2005 年	—	
	2004 年	—	
	2003 年	—	
	2002 年	—	
	2001 年	—	
	2000 年	—	
22	1999 年 1 月 1 日	+1 秒	-32 秒
	1998 年	—	
21	1997 年 7 月 1 日	+1 秒	-31 秒
20	1996 年 1 月 1 日	+1 秒	-30 秒
	1995 年	—	
19	1994 年 7 月 1 日	+1 秒	-29 秒
18	1993 年 7 月 1 日	+1 秒	-28 秒
17	1992 年 7 月 1 日	+1 秒	-27 秒
16	1991 年 1 月 1 日	+1 秒	-26 秒
15	1990 年 1 月 1 日	+1 秒	-25 秒
	1989 年	—	
14	1988 年 1 月 1 日	+1 秒	-24 秒
	1987 年	—	
	1986 年	—	
13	1985 年 7 月 1 日	+1 秒	-23 秒
	1984 年	—	
12	1983 年 7 月 1 日	+1 秒	-22 秒
11	1982 年 7 月 1 日	+1 秒	-21 秒
10	1981 年 7 月 1 日	+1 秒	-20 秒
9	1980 年 1 月 1 日	+1 秒	-19 秒
8	1979 年 1 月 1 日	+1 秒	-18 秒
7	1978 年 1 月 1 日	+1 秒	-17 秒
6	1977 年 1 月 1 日	+1 秒	-16 秒
5	1976 年 1 月 1 日	+1 秒	-15 秒
4	1975 年 1 月 1 日	+1 秒	-14 秒
3	1974 年 1 月 1 日	+1 秒	-13 秒
2	1973 年 1 月 1 日	+1 秒	-12 秒
1	1972 年 7 月 1 日	+1 秒	-11 秒
	1972 年 1 月 1 日	—	-10 秒

合計26回実施されている。特に2000年までの28年間は22回と1年から1年半に1度うるう秒調整が起こっていた。

また2000年までの時期は、コンピュータやネットワークなどのデジタル情報関連機器の高精度化の時期とも重なるため、UTCにうるう秒調整を行うことで生じる時系の不連続に伴う不具合が問題となり始めた。

コンピュータなどでうるう秒調整を行う際に生じるトラブルは大きく分けて二つある。

一つは、うるう秒挿入時の時刻である。過去26回発生したうるう秒調整は表2に示すようにすべて1秒挿入による調整であった。うるう秒挿入は月末最終日の最後、23時59分59秒の後に1秒挿入され23時59分60秒という時刻を発生させる。しかし、通常のコンピュータなどでは60秒という時刻は

存在しないため0秒を2回行ったり、1,000秒前から1,000分の1秒長い1秒を用いて少しずつ時刻をずらしながらうるう秒を吸収したりして対応を行っている。これらの対応をシステム内で統一していないと同期が損なわれる原因となる。

もう一つは、うるう秒調整の発生頻度である。うるう秒調整のタイミングは、地球の観点速度に依存し、うるう秒調整の実施は調整の半年前にならないと分からない。このためうるう秒調整の発生頻度が不定期になり、処理の自動化が難しい。

また、1978年に運用が開始されたGPSが2000年頃には広く一般にまで利用されるようになり、ナビゲーションシステムにおいて天文時に準拠するUTCの必要性が次第に薄れてきた。

このようにUTCの需要は大きくなってきたものの、本来の無線通信をはじめとする科学技術アプリケーションの分野ではうるう秒の存在が問題となってきた。

1999年、米国はWP7Aへ「DRAFT NEW QUESTION ITU-R [TF. qq] UTC TIME SCALE」を入力し、UTCとうるう秒に関して検討するよう研究課題案を提案した。

この入力文書はWP7Aで議論され2001年に研究課題ITU-R 236/7となったが、この文書をきっかけに2000年からWP7Aにおいて本格的な議論が開始された。

3.2 WP7Aにおける議論

研究課題ITU-R 236/7における研究課題は三つである。

1. ナビゲーション／電気通信システムと一般の時刻利用の双方を満足できる時系への要求事項は何か？
2. UTCとUT1の時刻差分は現在、及び将来にわたってどこまで許容できるか？
3. 現在のうるう秒調整の手順は利用者の要求を満足しているか、あるいは代替りの手順が開発されるべきか？

WP7Aでは、2000年の会合で米国の入力した新研究課題案が議論されるのと並行して上記の研究課題に対応するため「UTCの将来問題（The future of the UTC time scale）」に特化して検討を行うSpecial Rapporteur Group (SRG) on the future of UTCをWP7A内に設けた。

SRGの議長は当初、米国のR. Beard氏でBeard氏がWP7A議長に就任後は米国のT. Bartholomew氏が就任し、2006年まで精力的に活動を行った。

3.2.1 2002年SRGへの入力

SRGは2001年からWP7A会合とは別に会合を行い、その



結果をWP7Aにフィードバックしていた。SRGに日本からも参加しており、2002年のSRG会合には、日本からアンケート調査の結果を入力した。このアンケート調査はSRGから2002年のWP7Aにも入力された。

アンケートの実施は2001年末、対象は電力・ガス、金融・保険、航空・船舶・鉄道、衛星完成・気象・地震観測、放送・通信、電気・電子・計測機器、時計業界等、日頃時刻を利用する幅広い分野に対して行い80件の回答を得た。アンケート調査結果を図4に示す。

当時のアンケート調査結果では、設問1にあるようにUTCの決定方法（うるう秒調整）に対する不満は2割程度、また設問2にあるようにUTCの決定方法の変更に賛成する意見は約24%と反対の約41%の半数程度で、UTCの決定方法を変更することに消極的であったことが分かる。また、設問2の賛成または反対理由を聞いたところ、UTCの決定方法を変更したい理由としてはうるう秒廃止が過半数を占め、変

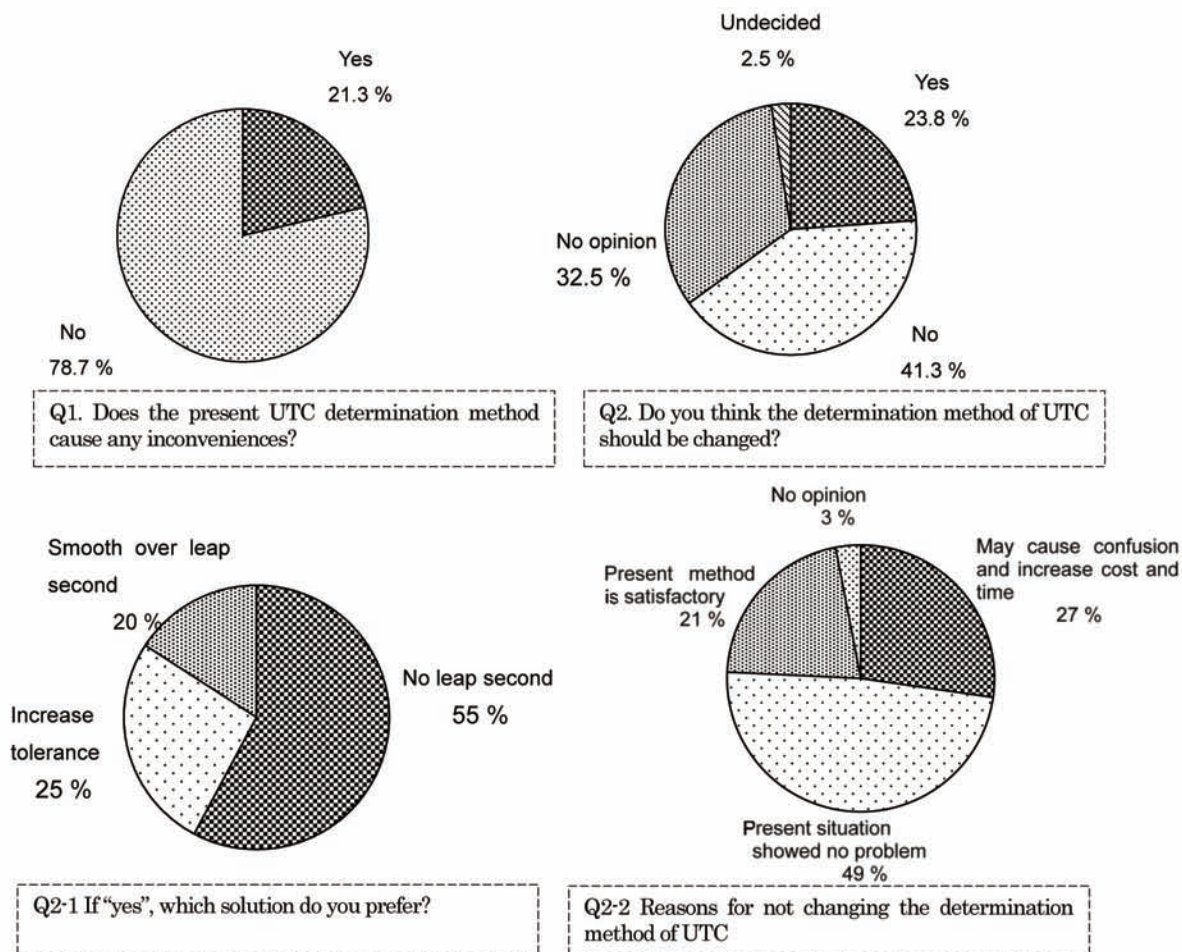
更したくない理由としては現状問題ないことが約半数であった。

これらの結果から、当時の日本ではUTCについて、うるう秒調整の影響を受ける関係者以外まだまだ関心が低かったことが分かる。

このアンケート結果は、これまで供給する側の専門家としての立場でSRGやWP7A会合の議論が進められていたところに、一般利用者を含む利用者側の意見を入力したことで大いに評価され、今後、一般に向けたアンケート調査の必要性が認識された。

3.2.2 トリノUTCコロキウム

UTCの将来問題に一定の方向性を示したのが2003年にトリノで開催されたUTCコロキウムである。トリノUTCコロキウムではUTCの将来形態として、以下のような方向性で議論が行われた。



■ 図4. 2002年にSRGへ日本が入力したアンケート結果



- ・連続時系を新たに用意する
- ・天文時と区別するため新たな名称を付ける
- ・International Time：TIはどうだろうか
- ・TIはUTCからの移行時点でUTCと時刻を合わせる
- ・移行はUTC50周年の2022年はどうだろうか
- ・UT1は今後とも必要であるのでIERSから入手できる必要がある
- ・IERSはUT1の予測値をwebやサーバなどを通じ通報すべきである

これらの事項は、ほとんど現在のうるう秒廃止の意見と一致する方向性である。この後はITU-R SG7 WG7でopinionを作成し、関係方面に照会を行う方針についても決定された。これによりSRGもUTCの決定方法の議論からこれまでの議論の経緯と方針についてまとめることに活動の重心が変わっていった。

3.2.3 WP7AにおけるITU-R勧告TF.460の改定

SRGによるトリノUTCコロキウムの方針の決定を受け、WP7Aにおいても2004年の会合以降、UTCの将来問題について議論が活発化した。2005年のWP7A会合では以下のような方針が決定された。

- ・SRGのこれまでの活動について整理し、活動報告書にまとめる
- ・2004～2005年のうるう秒変更に関する状況をまとめ、報道資料にして公表する

- ・2005年12月末のうるう秒挿入の経験などをもとに、関係する国際機関や国家計量標準機関に意見照会を行い、2006年のWP7Aに提出して議論を行う

これを受け、2006年のWP7A会合でSRGの最終報告書が入力され、また2006年のうるう秒挿入に関するアンケート結果などが提示された。しかしながら、うるう秒挿入に対するアンケートの回答件数が全部で13件と少なく、かつ、問題点についてのレポートはGPS利用機器関連と（日本からの）ネットワークサービス関連で多少あったのみであったこと、また他の機関から強い賛成あるいは反対の意見が得られなかったことなどから、2006年に方針の決定を行うことは難しく、継続審議となった。2006年のWP7A会合の大きな成果として、WP7A会合の前の週に終了した国際天文連合（IAU：International Astronomical Union）からのレポートが紹介された。ここで、IAUとしては変更に対し反対をしないが、システムの変更等に伴う移行期間として、少なくとも5年は必要である由、提示された。

2007年のWP7Aでは、新たなtime scaleの定義については今後調整することとして、ITU-R勧告TF.460-6の改定について集中的に議論を行った。WP7Aでは技術的な議論のみを行うことを前提に、標準局が通報する時系として何がふさわしいか、という観点から、現在、天文航法などの衰退や通信等の発展による連続時系に対する必要性の高まりとUNIX timeやGPS timeなど複数のシステム依存型の連続時系が乱立することによる混乱回避のため、また現

■表3. うるう秒調整による影響とUTCの将来的な変更の是非についてのアンケート調査（2006年）

Field	Effect of past leap second adjustment	Effect of future change to UTC	Agree or disagree with future change
Broadcasting carriers	None	None (Find the merit in disappearing in an irregular leap second adjustment)	Agree
Telecommunications carriers	None	None (Find the merit in disappearing in an irregular leap second adjustment)	Agree
Time stamp authorities	Operation stopped	None	Agree
GPS receiver manufacturers	None (Problem with bit length of the navigation message of the GPS in the future)	None in near future(New adjustment method may involve the possibility of significant problems)	Both agree and disagree
Geographical Survey Institute	None (Manual adjustment)	Need to adopt some changes to the control programs	—
Satellite launching enterprise	Made some changes to the control programs	Need to adopt some changes to the control programs	—

As individual opinions:

- (1) Manufacturers and Software developers need 5 to 10 years for the future change of UTC. New adjustment method may involve the possibility of significant problems.
- (2) Concerning GPS receiver manufacturing, it would be difficult to start a discussion until the new treatment on the data transmission concerning the leap second or DUT1 is clarified.
- (3) Telecommunications carriers and communication service providers are in agreement with future changes, cause of the trouble prevention, and cost reduction based on the irregular leap second adjustment.
- (4) Time stamp authorities positively agree in because they need to stop the time services for several hours before and after the leap second adjustment. They also desire that the leap second should adjust avoidance July 1 and hope for January 1 from the aspect of the service offer.



在、DUT1よりも高精度にUT1-UTCの値が入手可能であることなどを踏まえ、UTCからうるう秒調整を無くすことに絞って議論された。

この意見については以前からロシア、ドイツ、米国などが積極的にうるう秒廃止の意見を入力しており、今回イタリアとBIPMを通じてCCTFからもうるう秒廃止を推進する意見が入力された。

また日本では2006年のWP7A会合の議論を受け、総務省が複数の業種に対し、過去のうるう秒調整による影響とUTCの将来的な変更の是非についてのアンケート調査を実施した。ただし、このアンケートはUTCの将来的な変更形態として2005年に米国から提案され、WP7A内で議論されていたうるう秒をうるう時に変更する案で実施している。このため、GPS製造業者から「システムの対応状況を含めて、実施段階で異常動作など社会的な混乱を引き起こす可能性がある」との意見が寄せられている。このアンケート結果から、日本のタイムスタンプ事業がうるう秒の影響により停止しなければならないことが示され、具体的なうるう秒調整の弊害として今後のWP7A等の議論に影響を与えることとなった。

これらの議論を受けWP7Aでは、うるう秒廃止を軸としたITU-R勧告TF.460-6の改定草案を作成した。この勧告草案は2008年、2009年と議論され、英国及び中国の反対意見はあったものの技術的議論は尽くされたとして、2009年のWP7A会合にてSG7へITU-R勧告TF.460-6の改定案が送られた。

3.2.4 SG7におけるITU-R勧告TF.460-6改定議論

ITU-R勧告TF.460-6の改訂案は2009年のSG7で議論されたが、賛成する国と反対する国の間で話し合いがつかなかったため、より多くの国の意見を聞くためCACE/516で各国にアンケート調査を実施した。

調査項目は以下の4項目で、すべてYes or Noで回答する形式であった。

- ① あなたは（天文時へのリファレンスを提供するために）現在のUT1とUTCの関係性を維持することを支持しますか？
- ② あなたは昨今うるう秒を導入することに技術的な困難を抱えていますか？（もしYesならばその理由を説明してください）
- ③ あなたはITU-R勧告TF.460-6の改訂を支持しますか？（その理由を説明できますか？）

■表4. CACE/516への全回答

	Yes	No
①	Canada UK China Andorra*	France Germany Japan USA Korea Italy* Poland* (BIPM) (IAU)
②	France Japan USA Poland* (IAU)	Germany Korea Canada UK China Italy* Andorra*
③	France Germany Japan USA Korea Italy* Poland* Andorra* (BIPM) (IAU)	Canada UK China
④	Canada UK China	France Japan USA Korea Italy* Poland* Andorra* (BIPM) (IAU)

・*の国はSG7関連会合期間中に到着した回答

・BIPM、IAUはセクターメンバであるためカウントせず

- ④ もしITU-R勧告TF.460-6の改訂が承認され5年後にうるう秒を廃止することが合意された場合、あなたの政府に何らかの技術的困難を生じさせますか？（もしYesならばその理由を説明してください）

このアンケート結果は2010年のSG7で議論された。回答は当初8か国と二つのセクターメンバであったが、SG7関連会合期間中に3か国から追加で回答が届いたため、最終的に11か国から回答があった。

CACE/516でITU-R勧告TF.460-6の改訂に関する質問は③であり、賛成8か国、反対3か国という結果になった。また、②に対しフランスは天文測定学、測地学通信などに影響あり、日本はタイムビジネス、米国とポーランドはNTPサービスに問題ありと回答している。

2010年のSG7では、カナダからCACE/516のアンケートでは回答数が少なすぎるため、再度アンケート調査を行うべきという強い要望もあり、2011年にアンケートの設問を①



と③に絞ってCACE/539で再度アンケート調査を実施した。

再度実施したアンケート結果では、2011年9月のSG7で報告され、ITU-R勧告TF.460-6の改訂に賛成したのは13か国、反対は3か国であった。

・賛成した国

アルゼンチン、フィンランド、フランス、ドイツ、インド、イスラエル、イタリア、日本、韓国、ノルウェー、ポーランド、トルコ、米国

・反対した国

カナダ、中国、英国

しかし、カナダ、中国、英国の反対は根強く、SG7では結局ITU-R勧告TF.460-6の改訂について意見がまとまらなかったため、RA-12において議論することとなった。

4. RA-12及びWRC-12

4.1 RA-12における各国の反応

RA-12は、2012年1月16～20日の日程で開催され、ITU-R勧告TF.460-6の改訂に関する審議は19日の全体会で審議された。なおこの改訂に関し米国から改訂を支持する寄与文書、英国から改訂に反対する寄与文書が事前に入力された。

会全体合では、まずSG7議長からUTCにおけるうるう秒の位置付けと現状、SG7における議論などの背景説明が行われ、寄与文書入力順に、米国の賛成意見、英国の反対意見が述べられディスカッションが開始された。

当初は改訂に賛成、反対の議論がそれぞれ続いたが、アフリカ連合を代表するナイジェリアから「今回のITU-R勧告TF.460-6の改訂に関する議論のための情報が少ないため賛成・反対の意見を示せる状態にない。このためRA-12会合でITU-R勧告TF.460-6の改訂を審議するのは時期尚早である。もっとうるう秒調整の影響についてまとめて情報を提示して欲しい。」という意見が出され、アラブ連盟を代表するUAEもこの議論を先延ばしにする意見を支持した。

この辺りから議論を先延ばしにする意見が多く出始め、これらの状況から、RA議長により、加盟各国がこの問題により深い理解を得るために、次回会合までSG7に差し戻して論点を整理して、次回の会合で再び議論する方針を提示し、各国が了承した。

RA-12の議論では、ITU-R勧告TF.460-6の改訂の点からは結論が先延ばしとなったのだが、連続時系の導入の面ではこれまでと違った側面も見ることができた。RA-12で発言した各国の反応をまとめると以下ようになる。

米国：	勧告改訂を支持
英国：	勧告改訂を不支持
カナダ：	勧告改訂を不支持、時期尚早、連続時系導入の必要性は認識
中国：	勧告改訂を不支持
フランス：	勧告改訂を支持
メキシコ：	勧告改訂を支持
ナイジェリア：	更なる情報提供希望
日本：	勧告改訂を支持
ロシア：	更なる情報提供希望、今回の勧告改訂は時期尚早
イタリア	勧告改訂を支持
ドイツ：	勧告改訂を不支持
UAE：	更なる情報提供希望
アルメニア：	更なる情報提供希望
トルコ：	勧告改訂を支持

この中で、これまでのSG7等ではITU-R勧告TF.460-6の改訂を支持していたドイツがRA-12においては不支持に回ったことが技術的議論と政策的議論の違いとして驚きをもって受け止められた。また、会合の間ではロシアは明確な意思表示を行っていなかったが、実際にオフラインで話を聞いたところ、ロシアとしては不支持であるとの意向を伝えられた。

ただし、勧告改訂に反対している国も連続時系の標準時に反対しているわけではなく、カナダや英国なども連続時系の必要性については認識しており、連続時系の導入自体には反対していないことが個別の意見交換で分かった。

すなわち、ここで認識の違いが生じているのはUTC、及び標準時系に対する考え方である。ITU-R勧告TF.460-6の改訂に反対している国は、UTCは市民生活のため現状のまま維持し、必要に応じて連続な標準時系を構築すればよいとしている。一方、改訂を支持する国及びUTCを維持しているBIPMなどは、標準時系は一つに統一すべきであるという考え方である。

4.2 WRC-12における議論

RA-12においてITU-R勧告TF.460-6の改訂について更なる検討が必要としてITU-R SG7に差し戻された。

ここでITU-R勧告TF.460-6はRRの第1.14条で引用されていること、またRA-12の議論で途上国がなぜうるう秒廃止の改訂案が出てきたかを理解していなかったため、WRC-15に向けた会議準備会合（CPM：Conference Preparatory



Meeting for WRC-15) に向けCPMレポートを作成する必要性が出てきたことなどからUTCの将来問題をWRC-15の議題とする必要性が生じた。

これらを受け、米国を中心にWRC-15に向けた新議題として「UTCの修正等による連続的な参照時系の実現の可能性の検討」を取りまとめ、ドイツ、ブラジル、米国、フランス、日本、メキシコ、ニュージーランドの共同提案でWRC-12に提出され、のちにアルゼンチン、イタリアが賛同した。

共同提案はWRC-15に向けたものとして、WRC-12の議題8.2「将来の世界無線通信会議の議題」のなかで議論された。筆者はWRC-12には参加していないためWRC-12報告書の該当箇所を抜粋する。

うるう秒の廃止を選択肢の一つとして決議内に明記する共同提案に対し、英国、カナダ、中国が、UTCは長年にわたり世界で広く利用されており、ほとんどの利用において大きな問題は発生していないことから、次回のWRC-15においては連続的な参照時系を世界的に定めることができるかについて技術的な検討を行う、という抽象的な記載にとどめる共同提案を提出した。

双方の共同提案に関する議論において、ロシアより、前者の共同提案が「うるう秒の削除」を明示しており、次回のWRC-15における結論を暗に誘導（Pre-judge）している旨を指摘した上で、英国等の共同提案に対する支持の表明があった。これを受け、英国主導による会合外での調整やDGによる審議が行われた結果、「UTCの修正やその他の手法などの案を含め、連続的な参照時系が実現できるかを検討する」という書きぶりに改めた上で、本件を議題1.14とすることが承認された。

5. 議題1.14の議論

議題1.14 協定世界時（うるう秒調整）の見直しに関する議題

1.14 協定世界時（UTC）の修正又はその他の方法により、連続的な基準時刻系を実現する可能性を検討し、適切な措置をとること。

5.1 2012年うるう秒調整時のインシデント

WRC-12は2012年の1月から2月にかけて開催されたが、同じ2012年6月30日（UTC）の最後に3年半ぶりのうるう秒挿入が実施された。

1997年以降、うるう秒調整は年末（日本時間では1月1日）にうるう秒調整が行われていたが、近年のネットワーク技術の飛躍的な発展と2012年は15年ぶりの6月末日のうるう秒調整ということもあり、日曜日であったにもかかわらず世界中で多くのインシデントが発生した。

2012年のインシデントはLinuxのカーネルのバグによるもの、例えばJavaで構築されたオープンソースデータベースCassandraやオープンソースプラットフォームHadoopなどでCPU使用率が高騰するなどのトラブルが生じ、これらを用いたアプリケーションが障害を発生させた。有名などころでは、オーストラリアでカンタス航空の搭乗予約システムが2時間以上ダウンし400以上のフライトに影響を与えた。

日本においても著名なソーシャルネットワークシステム（SNS）やグループウェア、インターネットサービスプロバイダ（ISP）などにおいてもこの障害によるシステム遅延が報告された。これらのインシデントは2012年9月のWP7A会合でも報告された。

5.2 WP7Aの活動

2012年から2015年にかけてのWP7Aの活動は議題1.14に対するCPMレポートの作成に多くの時間が費やされた。

またWRC-12以降、幾つかの国においてうるう秒に対する対応に変化が生じた。RA-12においては、先延ばしの意見を提案したロシアは、完全にうるう秒を存続させる側となった。一方、長年にわたりうるう秒廃止に反対の立場をとっていた中国が、うるう秒廃止容認の立場になった。これらの国では、参加する代表団のメンバーもすべて入れ替えてWP7A会合に臨んだ。

会合では、日本、米国、フランスなどを中心に2012年のインシデントなどをもとにうるう秒調整のデメリットをまとめ、ロシア、英国などが現行のUTCのメリットをまとめ、お互いに議論を交わしながらCPMレポートとしてまとめた。

日本からの、

- ・タイムスタンプサービスがうるう秒調整の前後で数時間にわたり発行を停止せざるを得ないこと
- ・日本を含むアジア・オセアニア地域では朝の就業時間中に発生するため社会的な影響が大きいこと

の2点がCPMレポート中に反映された。

また議題1.14については、関係する国際機関などから広く意見を求めるため、2013年9月にITU-RとBIPMの共催で、



■表5. WRC-15で検討されたMethod

Method A1 : UTCへのうるう秒調整を廃止し、新たな連続時系を導入する。新たな連続時系は、「UTC」の名称を引き継ぐ。
Method A2 : UTCへのうるう秒調整を廃止し、新たな連続時系を導入する。新たな連続時系は、「UTC」とは名称を変える。
Method B : 現行UTCの定義を維持しつつ、新たに（うるう秒調整を廃止した）連続時系を導入し、2つの時刻系を共存させる。
Method C1 : 現行UTCの定義を変更しない。連続時系を使用する場合は、国際原子時（TAI）とする。
Method C2 : 現行UTCの定義を変更しない。連続時系の使用は任意とする。
● CPM15-2で追加
Method D : 研究（study）の結論が出ていないため、現行UTCの定義を変更しない。

WP7A 会合の後にITU-BIPM Workshop “Future of International Time Scale” が開催された。本WorkshopではITU-R、BIPM以外に、IERS、IAU、ISO、IUGGなどの国際機関、GNSS衛星関係各企業などから発表があり、日本からも実際にうるう秒の影響を報告しているタイムスタンプ業界から発表を行った。これらの発表は今後への資料としてWP7Aでまとめられた。

Methodを決める段階では、当初は現行のUTCからうるう秒調整を取り除く方法と現行のUTCと新たな連続時系を導入する方法の大きく2通りであったが、現行のUTCと連続時系を併用する方法では、英国が提案する現行UTCと連続時系を同等に扱う方法と、ロシアが提案する現行UTCをそのまま報時し連続時系はUTCとの差分で表す方法の二つの方法に分かれた。これら三つの方法がそれぞれMethod A、B、CとなりWRC-15に向け細かく規定されていった。

Method Aについては、米国、フランスなどはUTCをそのまま利用することを強く押し、日本もそちらに同調したが、英国が連続時系でUTCの名称を使用することに強く反対し、ロシアもITU-BIPM WorkshopでISOの発表者が「物理的状態が変化するならば名称も変更すべき」と発言したことを根拠にUTCの名称使用に反対したため、Method AはUTCの名称を引き継ぐMethod A1と名称を変更するMethod A2に分割された。

Method Cにおいても連続時系としてロシアが主張するTAIを用いるMethod C1と任意の連続時系を設定すべきとするMethod C2に分かれた。

最終的には大きく3部類、5つのMethodが決められCPMレポートに記載された。（表5）

5.3 APG15の活動

UTCの将来問題がWRC-15の議題になったことから、この問題は地域連合においても議論されることとなった。アジア・太平洋地域の地域連合は、アジア・太平洋電気通信共同体（APT）のWRC-15準備会合（APG15会合）が

WRC-12からWRC-15の間に5回開催された。

APG15における議題1.14関連のWGでは、日本、韓国、オーストラリアなどが最初からうるう秒廃止を積極的に推進した。懸念された中国もWP7A会合と同じメンバが参加しており、当初は慎重な議論を求める立場を示したが、次第にうるう秒廃止に賛同するようになった。他の加盟国においても慎重な議論を望む国はあっても現行のUTC存続を推進する国はなかった。

また、ITU-RでITU-BIPM Workshop “Future of International Time Scale” が開催されたことを受け、APG15においても2015年2月の第4回会合において「議題1.14に関する情報セッション」を設け、ITU-R事務局、SG7議長をはじめ、オーストラリア、韓国、中国、日本がプレゼンテーションを行った。これらの活動の結果、APTとしてはうるう秒を廃止する方向性がほぼ固まった。また名称についても当初オーストラリアのみMethod A2を支持していたが、名称変更は強い意見ではないとして最終的にAPT全体でMethod A1を支持することに決定した。

APG15の議論の中で長年WP7Aに関わってきたことで日本の意見をかなり尊重してもらうことができた。また、APT共通の問題としてうるう秒挿入時、APTの加盟各国では朝の就業時間中に発生するため社会的な影響が大きいことが改めて確認され、「議題1.14に関する情報セッション」における日本やオーストラリアのインシデント報告も大きな影響を与えた。

5.4 CPM15-2における議論

CPM15-2会合は2015年3月23日～4月4日にかけてジュネーブ国際会議場において開催された。加盟国の主管庁とセクターメンバから約1,300名以上が参加、日本からは約50名が参加した。会合全体についての報告はITUジャーナル2015年8月号に掲載されているのでそちらを参照していただきたい。

議題1.14関連では、アラブの6か国から「まだ議論が尽くされていないため当面現行のUTCの定義を変更しない」



という意見が入力され、議論の結果、Method DとしてCPMレポートに追加された。しかしロシアが求めたMethod Aの削除は却下された。

その他、各国からCPMレポートに対しエディトリアルな修正が加えられ、これらのほとんどは反映された。

5.5 WRC-15における議論

WRC-15会合は2015年11月2日～11月27日にかけてジュネーブ国際会議場において開催された。本会議にはITU加盟国から153か国とセクターメンバを合わせ3,800名以上が参加、日本からは約80名が参加した。

議題1.14に対しWRC-15に入力された各地域連合及び加盟各国からの意見は以下になる。

APT： Method A1を支持。(主に日本、韓国、中国、オーストラリア、ニュージーランド、マレーシア)

CEPT： オーストリア、スペイン、フィンランド、フランス、イタリア、リヒテンシュタイン・ルクセンブルク、モナコ、ノルウェー、ポーランド、スロバキア、チェコ、ルーマニアはMethod A1を支持。
バチカン、アイルランド、アイスランド、英国、スロベニアはMethod C1を支持。

RCC： Method Cを支持。

CITEL： Method A1を支持。(署名は米国、アルゼンチン、バハマ、エクアドル、メキシコ、ウルグアイ)

ATU： ブルンジ、ケニア、ウガンダ、ルワンダ、タンザニアはMethod A1を支持。

アンゴラ、ボツワナ、レソト、マダガスカル、マラウイ、モーリシャス、モザンビーク、ナミビア、コンゴ、セーシェル、南アフリカ、スワジランド、タンザニア(重複：WRC-15入力文書原文のとおり)、ザンビア、ジンバブエはMethod A1を支持。
コートジボワールはMethod C1を支持。

ベニン、ブルキナファソ、コートジボワール(重複：WRC-15入力文書原文のとおり)、ガンビア、ギニア、ニジェール、ナイジェリア、セネガル、トーゴはMethod Dを支持。

ASMG： Method Dを支持。

(Method Bを支持する地域連合はなし)

ここまでの各Methodno支持理由は以下になる。

Method A

- ・うるう秒調整が不定期で、かつ、半年前でないと調整の有無がわからないことが問題。(自動化できない)

- ・情報ネットワーク社会の進展により2012年のようなインシデントにより社会生活に大きな影響を与える

Method C

- ・社会生活の基準となる時系が天文時とずれていくことは社会生活に与える影響が大きい
- ・現在のUTCで動作している機器を新たな連続時系に対応させるためにはばく大な投資が必要となり、簡単に実現できない (GLONASS系時刻供給システムはUTCで動作)

Method D

- ・どちらの方法をとればいいのか判断がつかない

これらの背景を踏まえ会合では、本議題は突き詰めとうるう秒を廃止するか否かの単純かつ決定的な二元論であるため、Method A1を支持するアメリカ、フランスなどとMethod Cを支持するロシア、英国らが当初から激しく対立した。

図5は、議題1.14を取り扱うサブWGで議長が、各国の議論を活発化させるために、敢えて提示した各Methodの分布図で、CITELのカナダ、ブラジルのようにMethod A1を支持していないのに(これら両国はMethod Cを支持)Method A1に分類された国からは強く反発があったが、Method A支持、Method C支持の両陣営にそれぞれ大きなインパクトを与えた。

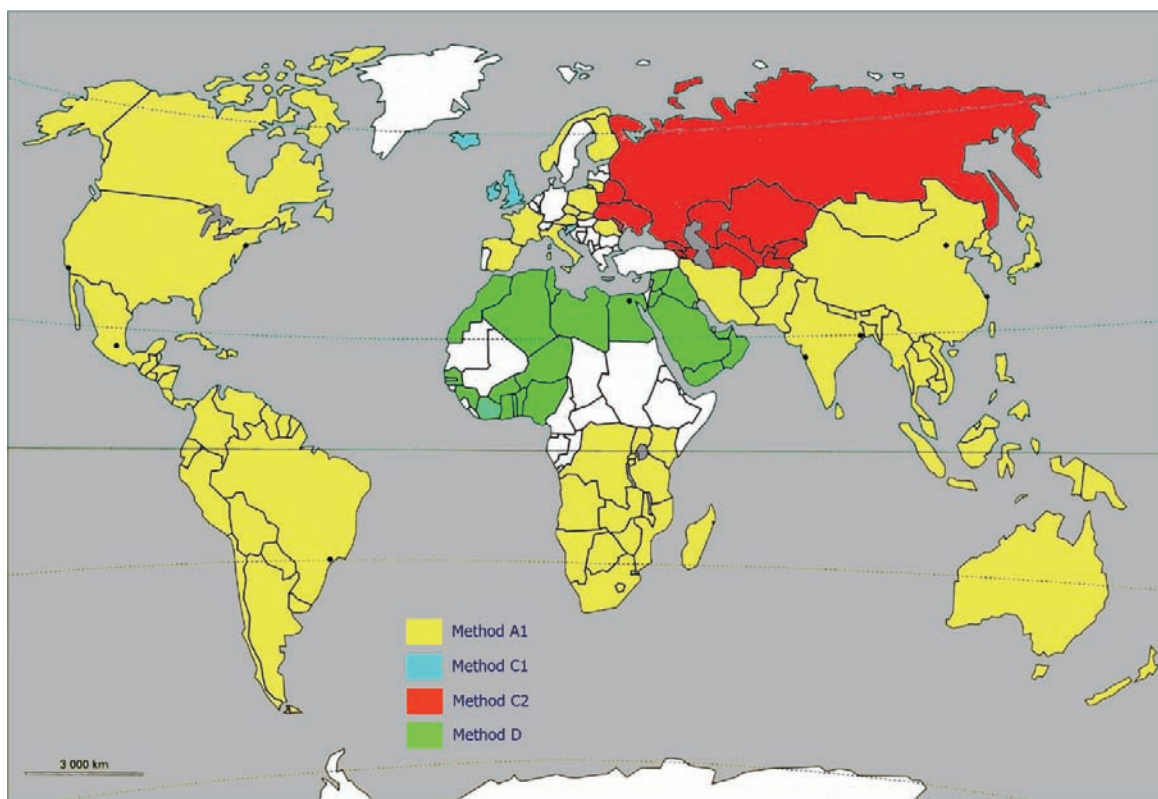
議論が対立した状態で米国が新たな標準時系の決定をWRC-23に行う新たな決議案を提出し、ロシア、英国がこの決議案で妥協する姿勢を見せたため、Methodについての議論は棚上げし、新決議案のドラフトを行ってサブWGでまとめあげた。

Methodについての議論が棚上げされたことに納得できないオーストラリア、韓国、中国及び日本の呼びかけで急きょAPTの臨時関係会合を開き、APTとしてはあくまでMethod A1を支持していくことを確認、同様に不満を持つフランスとともにWGの場でMethodの議論を求めたが、ロシア、英国及びWG議長から新決議案が唯一の全体の妥協案であるということでMethodの議論は却下された。

新決議案はプレナリまで承認を受け、議題1.14に対する新決議として採択された。

新決議では、

- ・ITU-RはBIPM、CIPM、CGPMの関係を強化し、今後、うるう秒調整の廃止を含む次期標準時系について検討を実施し、2023年に開催予定のWRC-23までに提言を行う



■図5. WRC-15において提示された地域連合別Method

- ・この検討には、加盟国、関係の国際機関、産業界、利用者団体も参加すること
- ・現行のUTCは、勧告ITU-R TF.460-6に基づきWRC-23まで維持すること

などが盛り込まれた。また、RRの“1. 用語と定義”の1.14項の「UTC」については、これまで「勧告ITU-R TF.460-6に定義する」と記述されていた部分は削除され、代わりにこの新決議を参照することとした。

6. おわりに

WRC-15が終了して結局先延ばししか、と思われる方も多いかと思われるが、長年「UTCの将来問題」に携わってきた者としては、この15年で世の中がずいぶん変わってきたことを実感している。

2001年のアンケートの頃は、うるう秒はほとんど知られておらず、2012年のRA-12の頃でも関係者以外はほとんど知らなかった。それが2012年のインシデント回りから世の中に少しずつ認知されてきた。これは日本だけではなく、図5を見れば分かりますとおり、RA-12では何を言っているかわからないと言っていたアフリカ諸国も各自の意見を持つ

までになった。

また、次期の標準時系を検討する関係国際機関やCGPM等度量衡側の国際機関も基本的にはうるう秒廃止に賛成している機関が多い。次期の標準時系の決定を次々回のWRC-23としたことも移行準備期間を十分確保するためとも考えられる。

これらのことから筆者の希望的観測としては、今回の新決議は準備期間を十分に確保した連続時系への移行だと考えている。ただし、連続時系実現のためには今後も各国・各機関に働きかけうるう秒廃止に向けた活動を続けていく必要がある。

参考文献

- [1] Resolution 1 of the 13th CGPM (1967/68)
<http://www.bipm.org/en/CGPM/db/13/1/>
- [2] Resolution 5 of the 15th CGPM (1975)
<http://www.bipm.org/en/CGPM/db/15/5/>
- [3] 訳・監修 (独) 産業技術総合研究所 計量標準総合センター、“国際文書第8版 (2006) 国際単位系 (SI) 日本語版”、pp.70、(2006年). (和訳)
- [4] うるう秒実施日一覧
<http://jjy.nict.go.jp/QandA/data/leapsec.html>