長崎県地学会誌　第68号　5－12（2004）

研究報告

金星の太陽面通過の観測

松　本　直　弥（㈲プラネット・エム）

The Transit of Venus in Al Ain, U.A.E.

Naoya MATSUMOTO

1．はじめに

2004年6月8日，122年ぶり，日本では130年ぶりの「金星太陽面通過」現象が起こった。

近世の天文学上の大きな命題「太陽視差を求める＝太陽系のスケールを決定する」を解決するために，18～19世紀に4回に渡ってこの現象の「世界同時観測」が行われた。その一環として，130年前の1874（明治7）年には日本へフランス，アメリカ，メキシコから観測隊が訪れ，長崎市ではフランス，アメリカ隊が観測を行った。これは日本で行われた最初の近代的な科学観測として知られている。

2．観測の歴史的経過と意義

金星が太陽の前面を通過する現象は243年に4回だけ起こる非常にまれな現象である。そして，105.5，8，121.5，8年の間隔で起こり，周期性が明瞭である。これを最初に観測したのは英国のホロックスという当時20歳の若き牧師で1639年12月4日のことであった。

ハレー彗星の研究で有名なエドモンド・ハレーは17世紀末から18世紀始めにかけて，金星の太陽面通過を世界各地で観測すれば金星の視差が測定でき，地球・太陽間の距離を正確に決定できると提唱した。

地球上の南北に離れた2地点で金星の太陽面通過を観測すると，その経路は太陽面でわずかにずれた位置を通る。これが2地点からの金星の視差になり，それから太陽視差の値が求まる。

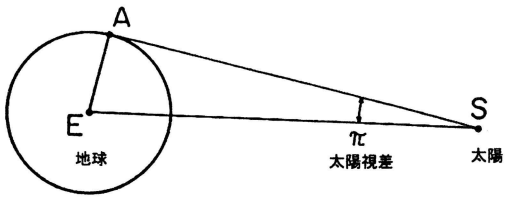


図1．太陽視差

太陽視差は太陽から地球の赤道半径を見込む角度のことで，これがわかれば，当時の天文学上の大きな命題であった地球・太陽間の平均距離（1天文単位）を直ちに求めることができる。

ただし，金星の視差は非常にわずかな角度であり，当時は数千kmも離れた地点から同時にそのような微少な角度を測定することは困難であった。そこで，角度を測る代わりに金星の通過に要する時間を計って太陽面上の経路を求めることとした。ハレーは金星の太陽との接触時刻を1秒の精度で求めることができれば太陽視差を1／500の精度で決定できると予測した。

ハレーは金星が太陽に侵入して内接する時刻（第2接触）から退出する際に内接する時刻（第3接触）を精密に測定する方法を提案した。しかし，ハレーの方法では約6時間に及ぶ通過の全体が観測されなければならないので観測地は限定され，長時間天候にも恵まれなければならなかった。そこで，第2接触または第3接触のどちらかの結果から解析する方法も提案されている。

そうして1761年と1769年の通過を観測するた

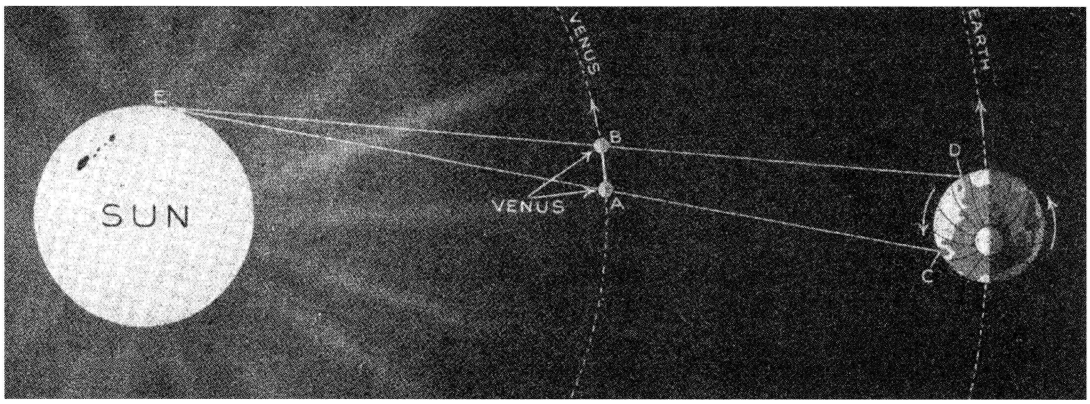


図２．金星太陽面通過により太陽までの距離を求める一方法

W.H. スティーブンソンによる金星太陽面通過を利用して，太陽までの距離を求める一つの方法についての説明図で，太陽縁Ｅから金星 VENUS が離出する時（太陽面を通過していた金星が太陽面から外へ出る時）を示す。

金星の離出は，地球上の観測者Ｃにとっては金星がＡにある時，（金星はＡからＢへ進むので）観測者Ｄにとっては，これより少し遅れて金星がＢに進んだ時に起こる。

ＡからＢへ進む間の金星の軌道上の運動はわかっており，地球上のＣＤの距離が判ればその間の地球の回転もわかり，これらから角Ｅを推定することができる。

このようにして，太陽の中心から地球半径を見込む角度（太陽視差）が判り，最終的に地球・太陽間の距離がわかるのである。（『壮麗なる天界』1925年より）

めに，多くの観測隊が世界の各地へ派遣された。有名なキャプテン・クック（英）の太平洋探険も，この現象の観測を目的として始められた。

ところが，実際に観測を行ってみても，期待したほどの成果は得られなかった。これは主に「ブラック・ドロップ」と呼ばれる予期しない現象によるもので，極端な場合は，隣り合う観測者で１分もの差を生じたこともあったと伝えられている。２回の観測結果として太陽視差8.5～8.9″ の値が計算され，1827年エンケが公表した8.58″ がその後４半世紀は太陽視差の値とされていたが，次第に小さすぎるのではないかという疑問が持たれるようになってきた。

1874年，1882年の通過がこの値を正す機会として待ち望まれ，各国も再び精力的な観測を行った。しかし結局，今回も期待はずれの結果に終わり，この方法では精度向上は望めないという雰囲気が支配的になった。

1898年に地球に接近する小惑星エロスが発見されると，観測の対象はこちらへうつり，現在用いられている太陽視差＝8.794″ は，レーダー観測により得られた値である。

３．金星太陽面通過の記念事業

今回の130年ぶりの現象を前に，日本の科学史に大きな足跡を残した出来事を記念する事業が長崎の天文関係者によって計画され，「金星太陽面通過記念事業実行委員会」（尾崎洋二委員長）のもとに具体化された。その主な内容は次の通りである。

①金星太陽面通過記念講演会　４月25日，於長崎市科学館
「The Transit of Venus」W.Sheehan 氏
「現代天文学に活きる惑星の太陽（恒星）面通過」尾崎洋二氏

②金星太陽面通過に関する展示（於長崎市科学館）
・130年前の観測に関する展示物
・金星太陽面通過に関するパネル

③県内各天文施設における観察会（当日）

④長崎市科学館によるホームページ公開・当日のインターネットライブ中継

⑤パンフレットの作製・配布
18万部を作製し，長崎県内の全小中学生などへ配布

また，関連で「東亜天文学会」総会・研究発

表会を４月24日に長崎市科学館で開催し，金比羅山中腹に遺されているフランス隊の「金星観測碑」も見学した。

４．観測地の選定

1874年に外国の観測隊が長崎で観測を行ったことを高校時代から聞きかじっていたので，私なりの思い入れを抱いていた現象であるが，６月８日は例年であれば入梅後のため晴れる確率はかなり低い。そのうえ，日本では全経過を見ることができない。できれば，どこか天候の心配が無い所で，全経過を見てみたいものだと考えていた。

そんなところへ，2003年の年末に発行された「日食情報2003No.3」により，村山定男・中村幸夫さん率いる日食情報センターのグループがアラブ首長国連邦（UAE）で観測するという情報を入手した。UAEは正午近くに太陽面通過の最大となって天文学的条件が良く，晴天率が高く，また，治安もアクセスも良い。

天文現象が好きなことでは私に負けない副島勉さん（佐賀市）と相談し，我々もUAEへ向かうことにした。ただ，二人とも５月にオーストラリアへ出かけたばかりなので，あまり時間が取れない。最短時間で行ってくるだけの行程を組んだ。１泊５日（機中３泊）の超ハードな旅である。

５．UAEへのみち

福岡空港を６月６日午前に出発，シンガポール経由で７日の早朝02：30にドバイ空港へ到着。福岡出発時にはUAEへ到着した時にビザを取らなければいけないと言われたのだが，結局日本人はビザ不要だった（30日の滞在まで）。手配していたタクシーで内陸120㎞にあるオアシス都市アル・アインへ向かう。ドバイでももちろん現象は見えるのだが，アル・アインの方が湿度が低くまだ観測しやすいだろうという副島さんの判断があった。

産油国だけあって途中の道路は良く整備されている。制限速度120㎞の高速道路は通行無料で，惜しげもなく明るく照明されている。車のライトが必要無いような明るさ。04：30には宿泊するアルアイン・ヒルトンへ到着した。

村山定男さんと副島勉さん

時間があまりにも早いので，どうしたものかと思いつつもフロントを訪ねると，人なつこそうな係員が，何と部屋の鍵を渡してくれた。この超アーリー・チェックインはたいへんありがたかった。（しかも，翌８日はホテルを離れる16：30まで部屋を使わせてもらうことができた。たいへん親切なホテルだった。）

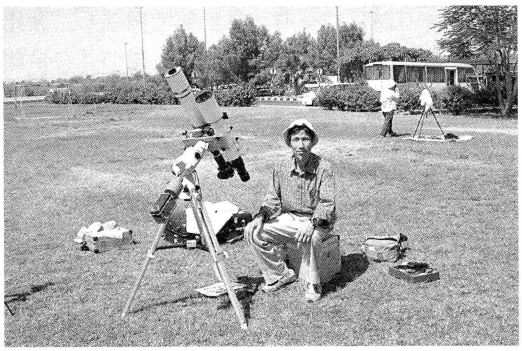
６．アル・アインにて

予想していたことだが，外は滅茶苦茶に暑い。昼過ぎに日陰のバルコニーで気温を測ると，なんと43℃だった。風がまるでエアコンの室外機から吹き出すような熱風で，風がない方がまだしのぎ易い。明日はこの暑さの中，しかも炎天下で観測かと思うと腰が引けてしまう。

15時半ころ副島さんとタクシーでアル・アインの街へ出かけた。しかし，街は閑散としており商店もほとんど閉まっている。暑さの中を汗だくになりながら歩いて，ようやく開いているスーパーマーケットを見つけ，明日に備えて水やジュースを買いだめした。レストランが開いていないので，一旦ホテルへ戻る。

ちなみに，ガイドブックによればUAEの人口240万人のうち66％は外国人。スーパーマーケットの女性店員はフィリピン人だし，６回乗ったタクシーのドライバーは全てパキスタン人だった。英語が話せるドライバーは少なく，副島さんが旨いレストランの場所を聞き出そうと随分試みたが，ほとんど話が通じない。日本

アルアイン・ヒルトンホテルでの観測風景


観測中の筆者

人はあまり来ないらしく，よく，中国人か？と言われた。日本人だと判ると，親指を立てて「ナンバーワン」と言ってくれた。

再び17時半ころ街へくり出すと，今度はいったいどこに隠れていたのかと思うほど人と車で溢れている。商店などは昼にいったん閉まり，17時頃から再び開店するらしい。暑い午後は仕事にならないと言うことだろう。

夕食を済ませ，ホテルに戻ってきたら，ちょうど村山定男さんがガイドの方と２人で夕食をとられているところだった。昨年10月に体調を崩されたとお聞きし案じていたのだが，車椅子に乗られているものの，会話は全く不自由ではなく，いつもの村山先生で一安心。みなさんに迷惑をかけているから，これが最後の海外旅行かもしれないと話されていた。

村山先生とお話ししながら飲んだネスカフェの勘定が10Dh デルハムだったのには驚いた。街ではディナーが16Dh（約500円）なのに，ホテルではインスタントコーヒー一杯が10Dh！まあ日本円なら300円なのだが。

７．122年ぶりの太陽面通過が始まる

いよいよ待ち望んでいた６月８日である。疲れているはずなのに，時差のためか，現象を前にした緊張のためか，何だかよく眠れず，５時には起きてしまった。

７時にホテル構内の芝生広場（サッカーコート？）で日食情報センターのみなさんの傍に店開きさせてもらう。気温は33℃，なんだか涼しく感じる。空は地平線に近いところは白っぽいが，太陽高度が十分高いのでほとんど影響なし。もちろん一片の雲も無い。GPS で測定した位置は，北緯24° 12′ 26.2″，東経55° 47′ 09.4″，標高290m である。

赤道儀架台（タカハシ EM－10）に，7.6cm 屈折（タカハシ FC－76）と10cm屈折（BORG ED10cm）の２本の鏡筒を載せる。7.6cm は XP 14ミリによる拡大（合成 fl＝2600㎜），10cmは太陽の全体像が入るようにテレコンで２倍に引き伸ばし（合成 fl＝1280㎜），それぞれ５cm に絞って減光フィルターを取りつけ，ニコン D100 と D70のデジタル一眼レフを付けた（よって35㎜換算の合成焦点距離はそれぞれ1.5倍となる）。すぐに撮影画像を確認できるデジタル一眼レフの特長を生かして，テスト撮影によりシャッター速度を決定した。

第１接触の09：17（時刻は全て現地時刻＝GMT＋４時間）が迫る。潜入時（第１～第２接触）の様子がまず観測の大きなポイントだ。09：14から１分おきに撮影開始。ファインダー越しに太陽の南東部に注目する。

コマンダーが「第１接触」を告げるが，金星の姿は判らない。10秒，20秒過ぎても判らない…30秒経過したところで，太陽の縁に小さな凹みを発見，「わかりました！」と会場にまず私の声。急いでカメラの構図を修正する。１分過ぎた頃から方々で「あれかな？」「デカい！」「へこんできた」「おっきい～」と声が続いた。だが，中には３分過ぎても判らない人もいた。

しばらくしてコマンダーの「第２接触まで15分」の声に，一斉に笑いが起こる。例えば土星

や木星の星食では第１接触から第２接触までの時間は１分くらい。それに比べればのんびりした現象だ。

第２接触までは１分おきに撮影を続けた。この間，過去の資料によれば，まだ太陽面に侵入していない金星の縁が金星大気の影響で輝く現象が見られている。眼視的にはよく判らなかったが，09：33に撮影した写真を後で画像処理したところ，金星の縁が白っぽく縁取られたように見える。今回は望遠鏡の口径を５㎝に絞ったのだが，この状況をもっと鮮明にとらえるためには，絞らないで解像度を高めるべきだった。今回の反省点。

８．第２接触，ブラック・ドロップは？

問題の第２接触が迫ってきた。私の機材でもブラック・ドロップが見られるのか？もっとも興味深いシーンである。09：36からは２～３秒おきの撮影に切り替える。

1761年と1769年，最初に世界的な観測が行われた時，観測者は第２接触の後，瞬間的に金星の縁と太陽の縁の間に光が射し，精度良く接触時刻が決定できることを期待していた。しかし，現実にはそうならなかった。第２接触を終えたと思われた後も，金星の縁が太陽の縁にくっついたまま金星が太陽の中に進入し，金星は「黒い水滴」の形になった。いわゆる「ブラック・ドロップ」といわれる現象である。そのため隣り合わせた観測者でも30秒～１分もの測定差を生じたと言う。しかし，後に1882年になると大多数の観測者がブラック・ドロップを認めていない。故斉藤国治先生は「18世紀の幼稚な対物レンズのしわざ」と推論されている。

金星が太陽面にすっかり侵入し，太陽の縁を離れる時を注視していたが，金星の形は完全な円形のままであった。過去の観測者が見たような涙滴型になったり，太陽縁と金星の間に橋がかかるような現象を私は認めなかった。同地で観測した他のメンバーもほとんど同じ意見だった。

涙滴型あるいはそれに近い形状に見えることを「ブラック・ドロップ」と呼ぶなら，ブラック・ドロップは無かった，と言える。しかし，金星の縁が太陽の縁からずいぶん離れるまで，両者の間は薄暗くもやもやとした感じに見えた。

2004年４月に長崎で開催された講演会で，米国の研究者シーハンさんは「指と指を近づける時，まだ接触する前から両者がくっついたように見える，金星と太陽の縁が近づいた時にはそのように見えるだろう」と言われたのだが，まるでそのような見え方だった。

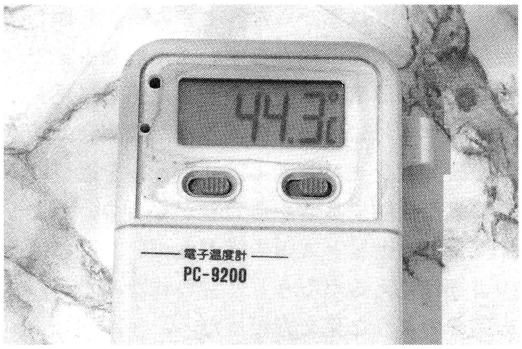
そのため，数秒おきに撮影した写真を並べても，第２接触の瞬間を決めるのは容易ではない。09：36：50～37：00の間だろうか，10秒程度の誤差は残る。エドモンド・ハレーが世界同時観測を提案した時，内接触時刻を時間の１秒の精度で決定できると考えたそうだが，現実にはすこぶる困難である。金星の緩慢な動きが，精度を求めるためには仇となってしまった。

そして，それはそのまま求められた太陽視差の精度に影響する。アメリカ隊は1874年に世界の８カ所に観測隊を派遣したにもかかわらず，その正式な報告書は未だに出されていない。その理由として，観測者がこの現象から求められる数値の精度に限界を感じ，やる気を無くしてしまったとも伝えられているが，実際に自分の目で見て，実感として感じることができた。やはり無理してUAEまで出かけてきて良かったと思う。

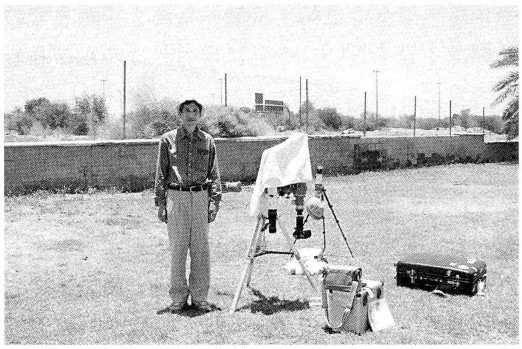
９．暑さの中，金星は進む

早朝は涼しいと思っていたが，それはやはり早朝だけの話だった。テントの中に置いていた温度計が10：30には40℃を突破。その後，13：30には45℃にまで上昇した。これでも下が芝生なので，まだしのぎやすい。汗をかいては水を飲み，飲んでは汗をかき，夕方気づいたら４リットル分の水やジュースを飲み干していた。

第２接触の後は，30分または40分おきに画像を合成できるように撮影を行った。日食の２倍時間がかかる長丁場だ。中村幸夫さんは太陽面に入ってしまった金星の縁が金環状に輝やいている様子に気付き撮影にも成功している。暑さのために思考も停止しがちだが，漫然と時間を



テントの中の温度計，最高気温は45℃になった


太陽の南中時には影が消えてしまった

すごしてはいけない。

太陽面通過中の金星が肉眼で見えるか否か，も重要な観察項目。かつては鋭眼を誇った私の目も，最近，近眼（老眼ではない）が進行してよく見えなくなった。視力0.5～0.6くらい。しかし，日食グラスで透かしてみると，何とか金星の存在が判った。会場のほとんどの人が肉眼で見えたようである。

アル・アインでの太陽の南中高度は89°，ほぼ天頂である。ほとんど影ができないという（我々にとっては）珍現象も見られた。当然，望遠鏡も真上を向き，カメラを覗くと首が痛い。鏡筒と架台が干渉して苦労している人も見受けられた。

ホテルの中でも話題になっているらしく，宿泊客や従業員が入替わり立替わり見物にやって来た。外国の人とすぐ仲良くなるのが特技？の副島さんはコックさんたちの相手をして，しきりに(東京でコックをしている息子さんに)UAEに来て働くようにと勧められていた。

10. 第３，４接触，通過の終了

第２接触から５時間を過ぎ，やっと第３接触の時間が迫ってきた。観測を始めた時には東の空に見えていた太陽は，西の空に傾きかかっている。15：03の第３接触に向けて15：00から撮影頻度を上げ，15：02：40からは第２接触と同様に数秒おきに露出，これを15：04：30まで続けた。少し風が出てきて，ファインダーの中で金星が踊る。

見え方は第２接触を裏返したようで，金星はきれいな円形のまま太陽に接触した。しかし，両者の間はいち早く薄暗くなり，やはり数秒の精度で決定するのは難しかった。写真からは15：03：20～03：30とみた。

第３接触から19分後の15：22に第４接触。世紀の天体ショーの終了に，思わず拍手をしていた。

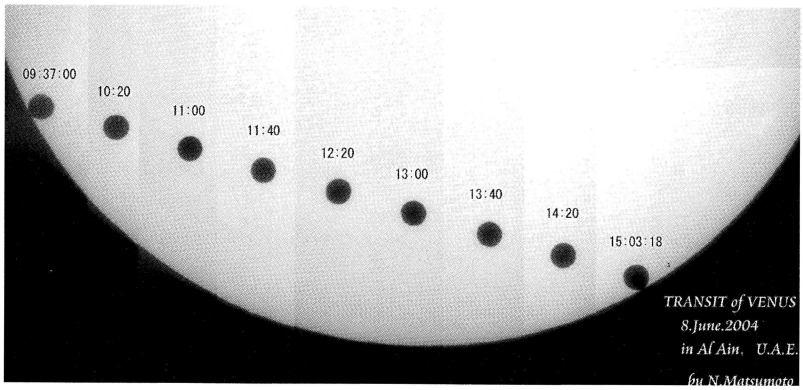
当初計画していた撮影をほぼ無事に終え，これから作った合成組写真を別に示した。副島さんも忘れ物で若干？のトラブルに見舞われたものの，コロナドフィルターを装着した５㎝屈折により，金星とプロミネンスのツーショットをモノにしている。

11. さいごに

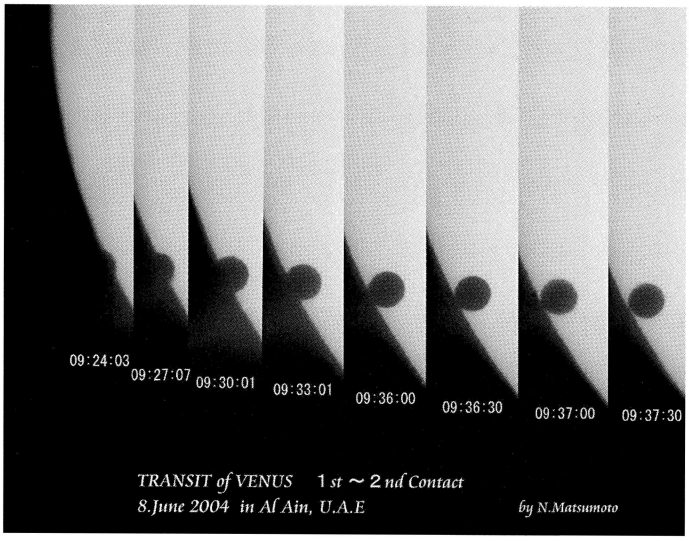
皆既日食のように劇的で派手な現象では決してないが，実際に全体の経過を見て，雄大な宇宙のスケールを感じさせてくれる現象だと感じた。幸いなことに８年後の2012年にもう一度チャンスがあるので，今回見逃した方々は期待していただきたい。次は日本でも全経過が見られる。しかし，時期は今回同様に６月上旬なので，お天気が悩ましいことは変わりない。じっくり日本で観るか，どこか（例えば北オーストラリア）へ出かけるか，迷うことになりそうだ。

次の観測へ向けて私なりにポイントをまとめてみたので，参考にしていただければ幸いである。

・望遠鏡の口径をなるべく絞らずに解像度を高める（対物レンズに付ける大きなフィルターを用意する）。



1．金星太陽面通過の全経過



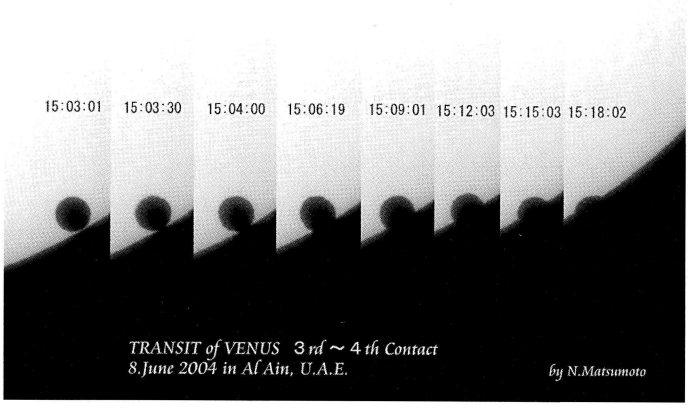
2．第１接触～第２接触

2004年６月８日　撮影時刻はそれぞれの写真に記入（現地時刻＝GMT＋４時間）

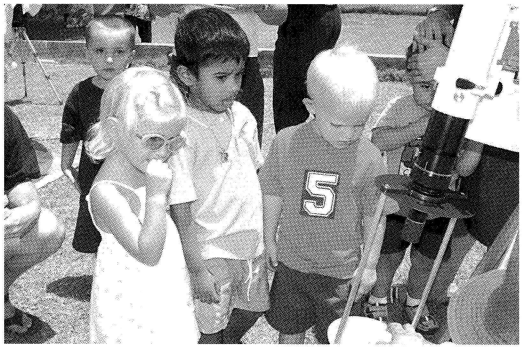
7.6cm屈折望遠鏡＋XP14㎜＋ニコンD70による拡大撮影（合成 fl＝2600㎜），

５cmに絞ってニコン製NDフィルター使用

アラブ首長国連邦，アル・アインのホテル・ヒルトン構内にて撮影



3．第３接触～第４接触



ホテルのお客も見学に来た

日食情報センターのみなさんと

・潜入時（第１～第２接触）と退出時（第３～第４接触）には，太陽に侵入していない金星の縁が輝く現象が撮影できる可能性がある。露出を変えてたくさん写真を撮る。
・金星が完全に太陽面に侵入した後も，金星の縁が金環状に輝く現象が見られる。時々露出を変えて撮影しておく。

日本では，北海道を除いて残念ながら天候が良くなかったが，部分的には晴れ間が見えたところもあったらしい。長崎では，夕方晴れ間がのぞき，長崎市科学館からのインターネット中継も成功したとのことであった。４月に盛大な記念事業を行ったのに，まるで見えなかったら格好がつかないと心配していたので，最悪の結果を逃れたことに一安心。８年後の６月６日にはぜひ晴れてもらいたいものだ。

参考文献

斎藤国治・篠沢志津代（1972）：「金星の日面経過について，特に明治７年（1874）12月９日日本における観測についての調査－前編」（総合報告），東京天文台報（第60号）第16巻第一冊，昭和47年６月 p.72－162

佐藤利男訳（2004）：1874年のアメリカ観測隊の遠征を中心とした金星の太陽面通過ものがたり，長崎県天文協会会誌第６号 p.14－22

松本直弥（2004）：金星の日面通過を観た，東亜天文学会「天界」第951号2004年８月 p.448－454

村山定男（1999）：キャプテン・クックの星空大航海，SKY WATCHER1999年６月号 p.118－125