

●はじめに

1987年9月23日、沖縄や中国などで金環日食がみられましたが、筆者はこの時、中国の南通市というところで、快晴という好条件のもとで、その全経過を見ることができました。その時の様子は、日食情報1987. No. 3に多賀春恵氏が詳しく報告されています。

日食を観測される方のほとんどは、その目的はさまざまでも、なんらかの形で写真を撮影します。この時の日食でも、数多くのすばらしい写真が、天文雑誌等を占領しました。

筆者は、プラネタリウム等の解説に役立てるために、この金環日食の全経過を一枚の写真に収めようとして計画しました。たまたま、その写真が天文雑誌に掲載されたことがきっかけとなって、その後、数人の方から、どのように撮影したのかという問い合わせをいただきました。しかし、仕事の忙しさ等も手伝って、その撮影法をまとめることができませんでした。そこで、今回、この紙面をおかりして、どのようにして、多重露光による連続写真を撮影したかを、ご紹介させていただきます。

● 金環日食ハイライト写真

筆者は、この金環日食のときに、直焦点などで写真をとると、単純な幾何学的な写真となってしまうのではないかと想像し、もっと絵になるような撮影法はないだろうかと考えました。そこで、過去の日食に関して各隊から報告されている報告書を調べていたところ、松枝弘氏が、1980年のアフリカ・インド日食の折りに、皆既日食のハイライト写真を撮影したという報告をしているのが目にとまりました。それは、皆既日食において、35ミリフィルムの一コマに、部分食、第2接触、食の最大、そして、第3接触など、つまり、ダイヤモンドリングやコロナを一コマのフィルムにまとめてしまうというものでした。

筆者は、このアイデアを、金環日食に応用しようと計画を練りはじめましたが、すぐに次のような問題の発生することが容易に想像がつかしました。

- ① 望遠レンズの焦点距離をどの程度にすればよいか
- ② 35ミリフィルムの対角線上に、食の進行状況を並べるには、どのようにしてカメラの構図を決定するか

③ 多重露光をどのような方法で行うか

④ 食分による露出補正をどうするか

また、このような写真は、一度の日食で、たった一コマしか撮影できませんので、途中で雲が出たらどうするか、それに、多重露光を行っていく過程で、その一回でも失敗したら、すべてが水のあわになりはしないかなど、上記の問題の他にも、成功する確率は非常に低く、全ての条件を満たしたとしても、それで得られる写真がたった一コマしかないことなどを考えると、計画を実行すべきかどうかの判断に苦しみました。

しかし、最終的には、万一失敗して写真が得られなくとも、この目で、金環日食が見られれば良いという結論に達して、上記の計画を実行に移すことにしました。

①の問題を解決するために、まず最初に、各望遠レンズの画角を調べました。松枝氏は200m/mの望遠レンズを使用し、35m/mサイズのフィルム一コマに7個の太陽像を写し込んでいます。200m/m望遠レンズのフィルム原板上のスケールは、天文年鑑より、

画角 $10^{\circ}.2 \times 6^{\circ}.8$ 対角線 $12^{\circ}.3$ 1m/m 当りの角度 $11' 1^{\circ}$ の長さ 3.49 m/m となっています。単純に計算すると、直径30'の太陽は、約 $1^{\circ}.8$ おきに対角線上に並ぶことになり、天球上を太陽が約 $1^{\circ}.8$ 進む時間間隔でシャッターを切れば良いこととなります。(ただし、松枝氏の写真はハイライト写真であるために第2、第3の接触時刻の間に、赤道儀を逆転させ、その時間の太陽を、ほぼ等間隔に合わせている。)

上記のデータをもとに撮影されるであろう写真の様子を図化してみると、皆既日食のときには、ダイヤモンドリングやコロナが写るので見栄えがしそうですが、金環日食のときには、もう少し太陽の像が大きくなってもよさそうな気がしました。そこで、300m/m望遠レンズを用いて太陽像を7個写し込んだ場合の様子を作画しました。

300m/m望遠レンズの原板上のスケールは、

画角 $6^{\circ}.9 \times 4^{\circ}.5$ 対角線 $8^{\circ}.1$ 1m/m 当りの角度 $11' 1^{\circ}$ の長さ 5.24 m/m となります。これによると、直径30'の太陽が、 $1^{\circ}.16$ おきに7個対角線上に並ぶことになり、大きさも間隔も、ほぼ筆者にとっては満足のいくものとなりました。こうして、この目的の撮影には300m/mの望遠レンズを用いることに決定しました。たまたま、以前に中古で購入しておいたペンタックスのスーパータクマー300m/mF4というレンズを持っていたので、それを用いることにしました。従って、カメラボディも、以前から愛用しているペンタックスES IIを使用することにしました。

次に考えなくてはならないのは、②の問題で、35m/mフィルムの対角線上にどのような方法で、太陽を7個並べるかということです。この問題に関しては、実際には2つの条件がつきます。ひとつは、対角線上に太陽を並べること。そしてもう一つは、松枝氏と同様に、第2接触、食の最大、第3接触を等間隔に並べることです。この2つの条件を満たし、しかも機材を軽くするために頭を悩ましたが、結局、赤道儀に300m/m望遠レンズを載せるのが、もっとも

よい方法であるという結論に達しました。

赤道儀をきちんとセットし、その上でカメラ雲台を用いてファインダーの対角線が日周方向に合うように赤経軸をゆるめて、太陽をカメラ視野の中で左右に振れば、構図は簡単に決定してしまいます（ただし、多重露光で太陽を並べるので、赤道儀は追尾させない）。ところで、中国南通市における局地予報は、筆者が日本で計算しておいた値では、

第1接触	0 時 35 分 44 秒	UT
第2接触	2 時 02 分 37 秒	
食の最大	2 時 04 分 24 秒	
第3接触	2 時 06 分 11 秒	
第4接触	3 時 39 分 36 秒	

で金環の継続時間は、3分34秒となっていました。前述のように約 1° .16おきに太陽を並べるところを、ちょうど 1° 間隔とすれば、4分毎にシャッターを切れば（相手が恒星ではなく太陽であるため）、正確に 1° おきに並ぶことになります。しかし、前述のように、金環の継続時間は、3分34秒しかありませんので、このままでは、第2から第3の接触時刻の間を 1° おきに並べることはできません。松枝氏はこれを解決するために、赤道儀の赤経ダイヤルを赤経方向に角度にして 1° .25回転させています（このときは皆既継続時間は約150秒で、撮影は5分間隔）。

実はこのとき、赤経ダイヤルを手動で回転させて、次の撮影を待っている間にも、太陽は日周運動によって動いているのです。松枝氏は、皆既の時は、コロナが面積的に大きく写るので、これによって生じる間隔の不規則は、あまり気にならないと述べています。しかし、金環の場合は、幾何学的なパターンとなるので、そうはいきません。そこで、食の最大が、びたりと画面の中心にくるように、なおかつ、太陽の日周運動を考慮して、第2接触、食の最大、第3接触、さらに T_2-8 、 T_2-4 、 T_3+4 、 T_3+8 がすべて等間隔に並ぶような方法を考えました。

まず、画面に最終的に写る状態を図にすると図1のようになりますから、第2接触、食の最大、第3接触の間を、赤道儀をある量で逆転させればよいことがわかります。日周運動を考慮して、手動で正確に逆転する自信はなかったので、赤道儀には、マークXを使い、コメット・トラッカーを用いて赤道儀を制御することにしました。コメット・トラッカーは、赤経、赤緯の両軸にモーターを付けて恒星時、月時、太陽時、それに彗星の移動方向に合わせて赤道儀を追尾させることができる便利なコントローラーで、その追尾速度は、ステップ数で与えるようになっています。

図1のように T_2 から T_3 まで、角度で約 2° ですから、この時間を3分32秒で（赤経方向を東へ）移動するように、コメット・トラッカーのステップの量を計算します。つまり、この時間だけ、モータドライブをある速度で回転させ、作動と同時に T_2 のシャッターを切り、モー

タードライブを作動させながら、 T_{max} でシャッターを切り、さらに T_3 のシャッターを切ったと同時にモータードライブを止めるのです。

太陽の日周運動を考慮して、上記の条件でモータードライブを作動させるために、コメット・トラッカーのステップ数を次のようにして計算します。

角度の 2° を3分32秒で移動しますから、1秒当りの移動量は、

$$2^\circ \div 212 \text{秒} = 0.0094340 / \text{秒}$$

これを1日の移動量になおすと、

$$0.0094340 \times 86400 \text{秒} (24 \text{時} \times 60 \text{分} \times 60 \text{秒}) = 815.0976 \\ = 48905'.856$$

ところで、コメット・トラッカーは5000ステップで恒星時追尾、4986ステップで太陽時追尾となっており、これより、1ステップは1日24時間の移動量で $4'.33$ となります。

従って、

$$48905'.856 \div 4'.33 = 11294.655 \text{ステップ}$$

となり、前述の条件でモータードライブを作動させることができます。ここで、赤経軸は逆転となるので、このステップ数は -11295 ステップとなります。さらにこのステップ数に太陽の日周運動を補正すると、9月の太陽時運転を、コメット・トラッカーで普通に行うためには、使用説明書によれば、4988ステップとなっているので、

$$4988 \text{ステップ} - 11295 \text{ステップ} = -6307 \text{ステップ}$$

となり、これをコメット・トラッカーに与えれば、最終的に意図した条件で撮影が可能となります。

次に、食の最大の時の太陽像を、フィルムの対角線上の中心におくために、どのようにカメラの構図をセットするかを考えます。

ペンタックスES-11のファインダーの視野率は、93%です。従って、仮にファインダーの端に、太陽のリムが見えるときにシャッターを切ったとすれば、実際のフィルム上には、フィルムの端より内側に太陽のリムが写っていることとなります。この点を考慮して、カメラのファインダーの端(対角線の)を利用して、ある特定の時刻に太陽のリムが、その位置にくるようにセットすれば、全てがうまくいくはずですが。この2点を同時に、しかも瞬時に行うのは、困難なので、あらかじめ赤道儀にカメラを付け、赤経軸を左右に振り、ファインダーの対角線上を太陽が動くように、雲台を固定しておき、その特定の時間になったら、赤経軸のみを利用して、ファインダーの端に太陽のリムがくるようにセットすれば、精神的に焦ることはありません。

その特定の時間を図1から求めます。実際に作成した図は、フィルムサイズを6.25倍に拡大した図です(印刷の関係で、図1は、必ずしもそうならないと思います)。 $T_2-8\text{m}$ からファインダーの端までの長さは、原図においては、 27.2mm でした。拡大率6.25を考慮

すると、フィルム上では、

$$27.2\text{m/m} \div 6.25\text{倍} = 4.352\text{m/m}$$

ところで、300m/mレンズの1m/m当りの角度は、前述のように1'ですが、より厳密には次式を利用して求めることができます。

$$d = f \cdot \tan \sigma$$

ここで、dはフィルム上の長さ(m/m)、fはレンズの焦点距離(m/m)、 σ は角度(")を表します。従って、

$$d = 300\text{m/m} \times \tan 0.01'' = 0.00145444\text{m/m}$$

で1秒当りのフィルムの長さが求められます。これより、1m/m当りの角度は

$$1'' \div 0.00145444\text{m/m} = 687''.5498 = 11''.45916$$

となります。従って、4.352m/mを角度に換算すると

$$4.352\text{m/m} \times 11''.45916 = 49'.8703 = 2992''.218$$

この時間を太陽が移動するのに要する時間は、時間の1秒当り

$$360^\circ \div 86400\text{秒} = 0.004178272981 = 15''.04/\text{秒}$$

となるので、これより

$$2992''.218 \div 15''.04 = 198\text{秒}.95 = 3\text{分}19\text{秒}$$

となります。従って、 $T_2 - 8\text{m}$ より3分19秒前に、太陽のリムをファインダーの端にセットし、赤道儀を固定しておいて、 $T_2 - 8\text{m}$ になったら1回目のシャッターを切ればよいわけです。

①、②の問題はこれで解決しましたので、次に③と④の多重露光と露出補正の問題をどうするかを考えますが、ES-11は古いカメラなので、よく行われているように、巻戻しレバーにテープをはり、フィルムのたるみをなくして、カメラ底ぶたの巻戻しノブを押しながらフィルムを巻き上げることで、シャッターを切ることにしました。次に露出補正に関しては、フィルムにエクタクローム64を用い、ラッテンNo. 96、D4フィルターを併用して、レンズの絞りをF16として事前にテストした結果、1/500秒が適正露出であることがわかりました。

天文年鑑によると、日食における食分の露出補正は、60%で2.0、80%で3.0、95%で4.0となっています。 $T_2 - 8\text{m}$ から $T_3 + 8\text{m}$ までの時刻における食分は、すべて食分80%以上であり(第2、第3接触、食の最大時は、食分95%以上)、また、これ以上撮影時の作業を複雑にしたくなかったので、露出は全て1/125秒としました。

これまで述べてきたことをまとめると、実際の撮影時の手順は、次のようになります。

●撮影機材

- ◎架台 マークX赤道儀+コメット・トラッカー+アルミ三脚
- ◎カメラ アサヒ・ペンタックスES-11+タクマー300m/mF4

◎フィルター コダック・ラッテンNo. 96、D4

◎フィルム コダック・エクタクローム64

●撮影手順

- 1 赤道儀をセットする（なるべく正確にセットする）。
- 2 コメット・トラッカーを、赤道儀が逆転するようにして、6307ステップに赤経軸側をセットしておく（このとき、コントローラーのモードがFIXではなく、必ずCOMET側になっていること）。
- 3 カメラレンズにフィルターをセットし、雲台に載せ、巻戻しレバーを少し逆転して、フィルムのたるみをなくし、レバーをテープで固定する。
- 4 太陽が、ファインダーの対角線上を通るように、赤経軸を左右に振りながら、雲台を動かしてセットする。
- 5 $T_2 - 8m$ より3分19秒前になったら、赤経軸をゆるめて、太陽がファインダーの左上の端にくるようにセットする（このとき、ギアのバックラッシュをとるため赤経軸を逆転方向に回して、太陽を導入しクランプする）。
- 6 赤道儀は固定しておき、 $T_2 - 8m$ 、 $T_2 - 4m$ の時刻になったら、シャッターを切る。フィルムを巻き上げるときには、必ず巻戻しノブを押しながら行う。
- 7 T_2 の時刻になったら、シャッターを切ると同時にコントローラーのスイッチをONにしてモータードライブを作動する。
- 8 モータードライブが作動しているので、慎重に巻き上げレバーを操作し、食の最大のためのシャッターをチャージする。
- 9 食の最大の時刻がきたら T_{max} のシャッターを切る（モータードライブは作動している）。
- 10 T_3 のためのシャッターをチャージする。
- 11 T_3 の時刻がきたら、シャッターを切ると同時にコントローラーのスイッチを切り、モータードライブを停止する。
- 12 $T_3 + 4m$ 、 $T_3 + 8m$ の順でシャッターをチャージし、シャッターを切る。

以上の作業を、順調に行うためには、1の赤道儀が、正確にセットされていなくてはなりません。しかし、海外での日食では、必ずしも、夜、星を見ながらセットできるとはかぎりませんので、この点が一番気がかりでした。万一、夜できないことも考えて、南中時刻を利用してセットする方法も考えましたが、南通市では、南中前に第3接触が終わってしまいます。そこで、日食前日の下見のときに南中時刻から、南北の線を地面に引いておき、当日は、それを利用して、赤道儀の方位を決め、高度は、架台の目盛りで再現することにしました。もし、それもできないときは、磁石から、偏角を補正して方位のほうを割り出す用意もしていきました。

●撮影を終了して

この撮影は、実際に計画をしてみると、当初、筆者が考えていた以上に大変神経を使い、しかも複雑な手順を踏まなくてはならないことが分かりました。そのため、中国にはいる前に、何度か、リハーサルを行い太陽を撮影してみました。テスト撮影したスライドを見るかぎり、前述の手順を確実に行えば、失敗しない写真が得られることが分かりました。天候と、赤道儀のセッティングの問題は、最後まで気がかりでしたが、あとは、運を天にまかせることにしました。

日食前夜、現地の方々のご好意で、北極星を見ながら、赤道儀をセットし、お礼に様々な天体を見せながら、明日の準備をし、機材を置かしてもらうことができました。そして、心配した当日の天候も、快晴のもとで、ほぼ意図した写真を得ることができました。実は、このとき、さらに欲張って、もう一台のカメラで、多重露出によって、日食の全経過を撮っていたので、非常に忙しい思いをしました。

観測を終了すると、手順どおりに撮影できた満足感を味わいましたが、それと同時に、金環食の最中、ファインダーを通してしか、金環食を見ていなかったことに大変後悔しました。

よく言われることですが、日食は、目でみるのが一番であることは、筆者も十分承知していましたが、このときほど、痛切に思ったことはありませんでした（しかし、その後の日食でも、相変わらず、重い機材をかついでいっています）。

こうして得られた写真を、写真1に示します。たった1枚の写真ですが、この写真を見るたびに、日食当日の光景と、前日、夜を徹して機材を見守って下さった現地の方々の顔が、今でも目の前に浮かんできます。

●おわりに

最近の海外でみられる日食は、経済大国日本を反映してか、かなりの天文ファンが、海外まで日食を見に出かけるようになりました。天文ファンならずとも、あの素晴らしい光景をこの目でみたいと思うのは、当り前の気持ちだと思いますし、海外旅行のマナーさえ守っていれば、それは多分、良いことだと思います。しかし、1970年代の海外への日食の遠征では、あまり問題にならなかったことが、ここ数回の日食に遠征して今後大きな問題に発展しそうな気がしてなりません。それは、日食を見るための目的が多用化してきたことです。

1988年3月の日食の時もそうでしたが、一つのツアーに集まる人々の目的は日食であっても、観光ついでの人から、本格的な観測をしようとする人まで、さまざまです。もちろん前

者の人にも日食を見る権利はあるわけで、限られた人達だけのためにあるわけではありません。しかし、このように目的が多用化すると、例えば、一つの例として、リハーサルをどうするかなどの問題が起こります。その目的によっては、リハーサルを行わなくては、当日の観測には臨めない人もいますし、ただ、見るだけであれば、せっかく外国まできて、貴重な一日をリハーサルで無駄にすることは無いと思う人もいるのは当然でしょう。ただ、リハーサルを行った人達が、前日、せっかく、空のどこを太陽が通って行くかを確認し、周りの木や、障害物を避けて、しかも他の観測者の障害にならないようにと場所を確保しておく、当日になって、そのあいだの場所に前日リハーサルを行わなかった人達が入ってきて、混乱を起こしてしまうことがあるのです。これは、特に全天撮影を予定しているものにとっては、大きな問題となります。目的が多用化していることが原因で、これと似たような問題がいくつかあります。それぞれに言い分があり、どちらが悪いと言う問題ではないと思いますが、ツアーを企画する責任者は、実際にこのようなことが起こることが、十分ありうることを理解しておいたほうが良いと思われま

す。中国で、日食前夜、観測場所（公園の内部）に機材を置かしてもらった人が、筆者を含めて、何人かいました。しかし、それが公園の管理者の間で、大きな問題となってしまいました。彼らは、快く引き受けてくれたのですが、それこそ、彼らが1年間働いても手の届かないような、高価な機材を朝まで守ることが、大きな負担となってしまったのです。このことを後で知って深く皆で反省しました。私達にとっては、何気ないことが、現地の人々の反発を招くことがあるのです。

ツアーの参加者全員が、気持ち良く日食を見ることができ、しかも、現地の人々の反発を招くことのないよう、今後の海外での日食観測が、よりよい方向に進むように願ってやみません。

写真1の撮影データ（現地に入ってから、正確な経緯度がわかり、日本で計算していったデータと若干の違いがあったので、撮影時刻を少し変更した。）

アサヒペンタックスES-11 300mm/F4（スーパータクマー）

エクタクローム64 コダックラッテンNo96 D4フィルター

125分の1秒で多重露光

撮影地 中国南通市南郊公園（北緯31度58分 東経120度53分30秒）

撮影時刻（左下より右上に向かって）

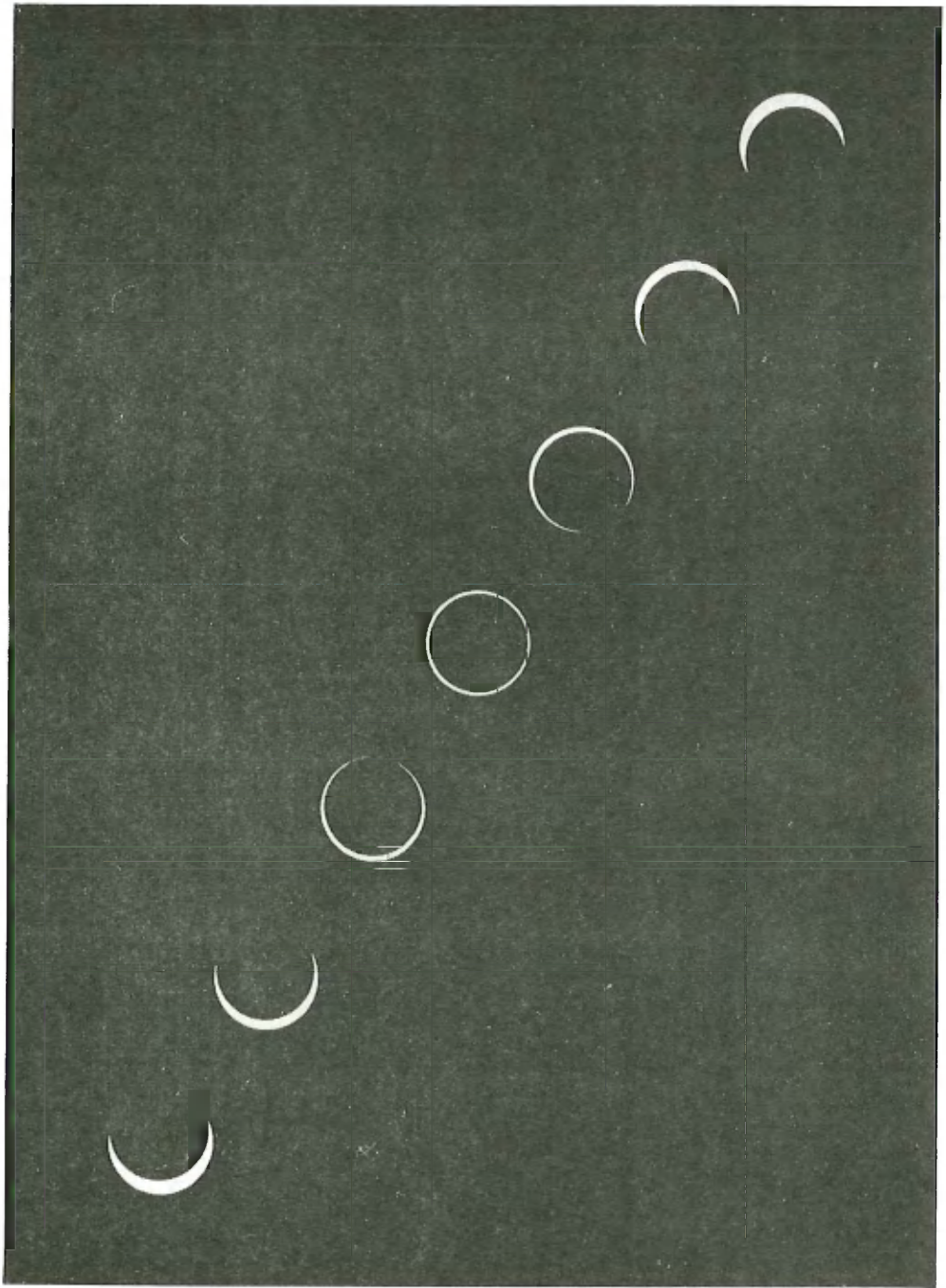
①1h54m49s ②1h58m49s ③2h02m49s（第2接触）

④2h04m35s（食の最大） ⑤2h06m21s（第3接触） ⑥2h10m21s

⑦2h14m21s



撮影に用いた機材



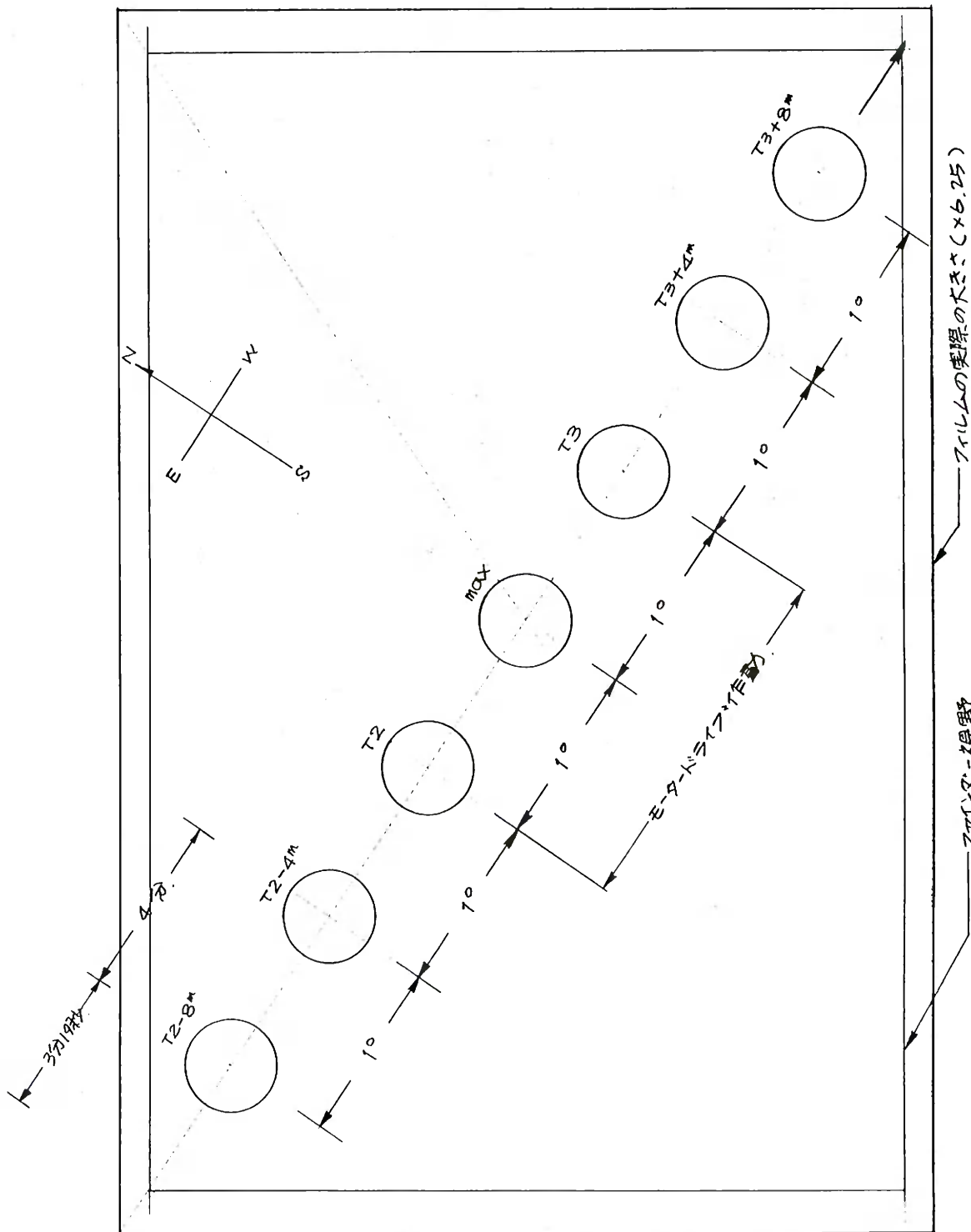


図1