

実験技術

アライメントのノウハウ

松井 佐久夫

(財)高輝度光科学研究センター放射光研究所*

Technique for Magnet Alignment of the SPring-8 Storage Ring

Sakuo MATSUI

Accelerator Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

The SPring-8 storage ring has a 1436m circumference and has 48 cells. Each cell has 17 quadrupole and sextupole magnets put on three girders, and two bending magnets. The 21 monuments for the magnet alignment were surveyed before building construction with a distance meter Kern ME5000 and a theodolite Wild T3000. The survey between girders was carried out by a laser tracker Leica SMART310 by making network. After smoothing the relative displacements were within ± 0.04 mm. A laser and CCD camera system is used for the precise alignment of multipole magnets in a girder. The target shift from the 5m-straight line can be measured to an accuracy less than $10 \mu\text{m}$. For these alignments some convenient instruments have been made, for example a detachable stage with ball cage etc.

1. はじめに

この4年、SPring-8蓄積リングの測量から、電磁石のアライメントまで多くの人の協力を得ながら、ともかく精密に設置するという一つの区切りを迎えるところまで来た。今後は変動について考えていかねばならないが、ここで、これまでの紹介と、思いつくことを述べてみたい。

リングは一周1436m、48セルからなる。図1のように、各セル2台の偏向電磁石があり、その両側の直線部を延長した交点に磁石を据えつける基準点(以下モニュメントと呼ぶ)を置くことにした。各セル3つの架台があり、その上には5又

は7台の4極、6極電磁石が置かれる。アライメント精度は、ビーム軸に対して垂直な平面内で、架台間は0.1~0.2mmに、架台内は4極、6極磁石の磁場中心を $50 \mu\text{m}$ に揃えることが要求されている。以下、モニュメント測量、架台間測量、レベル測量、偏向電磁石アライメント、ビームライン墨だし、架台内アライメントに分けて説明する。

2. モニュメント測量

2.1 モニュメント作り

SPring-8は、中央に山があり、壁に穴をあけ

* (財)高輝度光科学研究センター 放射光研究所 加速器部門
〒678-12 兵庫県赤穂郡上郡町 SPring-8 リング棟
TEL 07915-8-0852 FAX 07915-8-0850
e-mail matsui@sp8.sun.spring8.or.jp

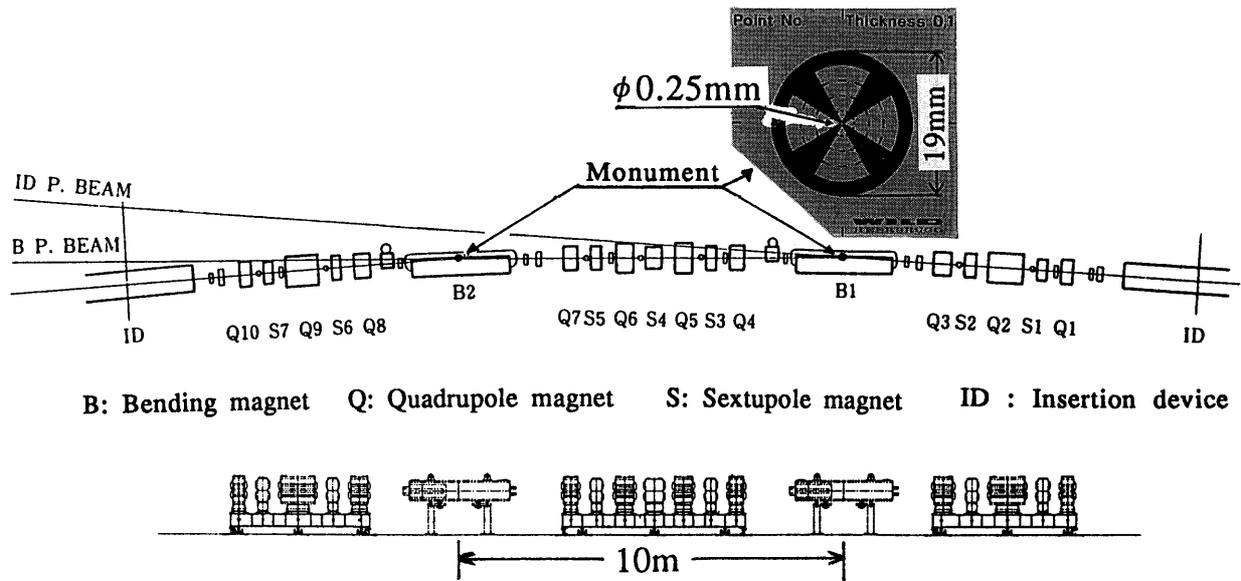


Figure 1. Arrangement of the beam components and monuments.

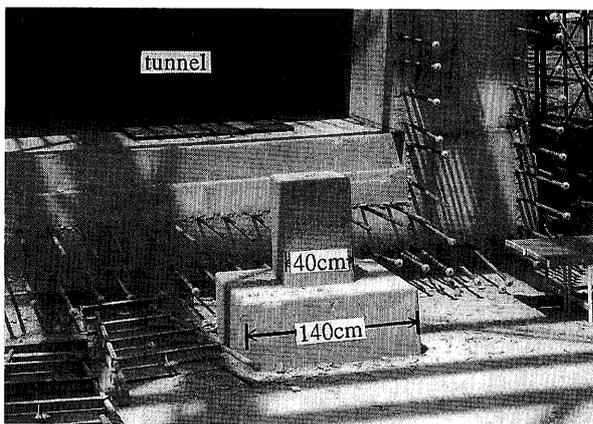


Figure 2. A monument block locked on the rock.

たととしても建物ができれば通常の測量はかなり困難になる。トンネル内だけの測量では歪みが出やすいと考えられたので、まだ見通しが利く、建物ができる前に測量を行うことにした。モニュメントの位置に墓石のような形のコンクリートブロックをつくり(図2)、その上面(トンネルができたとき床面になる)に真鍮の板を埋め込んだ。その板に図1にあるアルミのシールを貼り、測量に使った。このブロックは、88個のモニュメントのうち、4つに一つの割合で、約60mおきに作った。この距離だと、トンネルができて、セオドライトで両隣が見える、また30mまでしか測れ

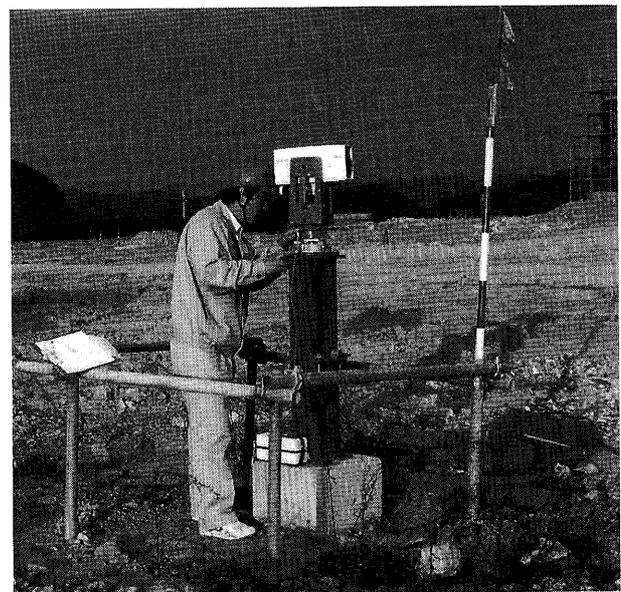


Figure 3. Distance meter ME5000 on the survey stand fixed to the monument.

ないレーザートラッカーだけで残りのモニュメントの位置を出すことができる。

測量する前に、測量機器が直ぐ据えられるスタンド(図3)を固定した。当初、この高さを40cmで考えていたが、実際に測量する頃には、あちこちで土木工事が始まっていて、土盛りができ、2段に重ねて使った。三脚がよく使われるが、設置するたびに同じ位置を再現するのは難しく、また動きやすいので、固定式でネットワークを作

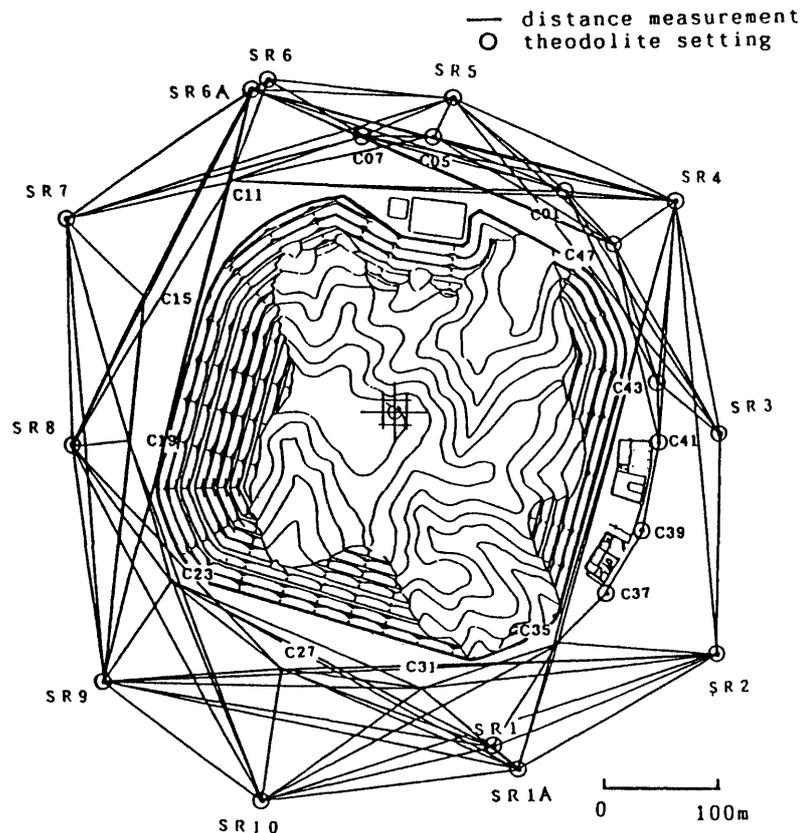


Figure 4. Survey network.

る方が精度を上げやすい。

このモニュメントは、測量後、トンネルの躯体を作る基準としても使われた。

真鍮板の面が床面になるので、プラスチックの板で上を保護していたが、工事中に剥がれたり、見にくくなったアルミのシールも多かった。

2.2 測量

これらのモニュメント (C01~47)、リングの外側の基準点 (SR1~10)、少ない辺で囲むための副点 (SR1A, 6A) とでネットワークをつくり測量した (図4)。SR1~10 は建物や土木工事その他のために国内でよく使われるタイプの基準点で、ここには三脚を立てて測量した。距離計は、He-Ne レーザーを使った、精度 $0.2\text{mm} \pm \text{距離} \times 0.2\text{ppm}$ という ME5000 (Kern 製) を用いた。1年おいて再び測量した。距離を測る反射鏡を3つから7つに増やし、大幅に能率が上がったが、この頃になって気がついた点も多い。例えば、野外

で温度を計るには、輻射があるのでアルコール温度計は駄目で、少々高価でも通風温度計を使うこと、気圧も、基準となる水銀気圧計を用意して、携帯用の気圧計を校正すること (1ppm の距離のずれは、温度1度、気圧なら 3hPa のずれでおきる)、レーザーの変調周波数を 1ppm 以下の精度を持つカウンターでチェックしておくことなどである。

リング外側の基準点の埋設やコンクリート製モニュメント作りは測量会社などに頼んだが、磁石の据え付けに使う、精度の必要な測量は、距離計 ME5000、セオドライト (トランシットとも言う) T3000 (Wild 製、2台)、(水準器を内蔵しておりラフな円形気泡管を合わせるだけで鉛直角、方位角がデジタルで読め、便利である。精度 0.5 秒)、レベル N3 (Wild)、鉛直器 NL (Wild、測量器自身にも下が見える望遠鏡がついているが、これは倍率が低い場合が多く、0.2mm 以下で設置する場合には鉛直器が必要、ただし、乗せ換えて、

0.1mm 程度のエラーが入る。プリズムを吊っており、これもラフな円形気泡管を合わせるだけで鉛直真下が見える。精度は100m 下で0.5mm) などを購入し、精密測量をしている人に教えてもらい、我々自身で行った。プロの測量屋に頼む手もあるが、我々の場合は、これで良かったのではないかと思う。測量からアライメントへはもともとつながっており、できれば一貫してみるほうが都合が良い。例えば、測量でセオドライトなどよく使っていたので、アライメントのイメージを作るのにも役立った。道具も、野外で測量に使った木の三脚は、トンネルの中で、動かないよう厚いアルミ板に載せ(三脚が滑らないように室内で使う細い棒が3本出ているものは、ラフな測定には軽くて良いが、足が少しでも触れると動いてしまい、精度を出すのは難しい)、上に汎用のXYZ ステージを購入してつけて、球形のターゲットを載せて架台間測量に、また、セオドライトを載せたり……(図5)。セオドライト、鉛直器も同じようにトンネル内測量、アライメントなどで使っ

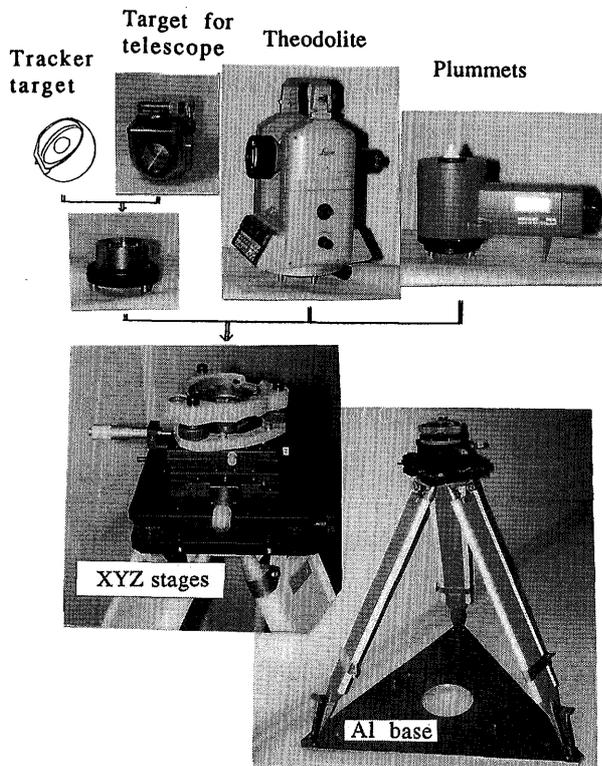


Figure 5. Wide use tripod for monument survey and alignment etc.

ている。また、見にくいモニュメントとか、測量を自分たちで行ったので、使う際に配慮できた等々。

測量の計算は、線形最小二乗法を使った BASIC のプログラムが教科書¹⁾ によっていて、そのまま使える。測量の点数が多くなると、BASIC では扱いにくくなるが、工夫して 200 を越す測定点数でも計算できるようにした。倍精度(14桁)にしておけば、連立方程式を解くときでも、ガウス掃き出し法で問題はないと思われる。誤差楕円については資料²⁾ をみてプログラムに加えた。

測定する時の誤差の見積りかたで結果が少しずつ違って来るなど、自分でいろいろ計算するとその結果の妥当性がわかりやすい。また、野外での角度測定で σ で 1 秒くらいの精度で測定ができるということもわかった。

計算の後、シールが剥がれてもわかるように、理想値にポンチを打ったが、この穴 ($\phi \sim 1\text{mm}$) は大きすぎて後の測量には真鍮の板に十字に線をけがいて使った。

最近、車のナビゲーションに GPS (Global Positioning System) が使われ始めたが、図4の SR1~10 も測量してもらっていた。我々の結果と、7mm 以内のずれで重ねることができた。この位の距離では、まだ ME5000 の方が精度が良いが、長くなってくると、GPS が有利になる。

3. 架台間アライメント

3.1 3次元干渉計レーザートラッカー

1995年11月アライメントの第4回国際ワークショップが KEK で催されたが、ここでレーザーを用いた3次元測定器(レーザートラッカーと呼ぶ)を使った報告がいくつかなされた。普通のレーザー干渉計は反射鏡をルールの上でしか動かさないが、最近になって実用化されたこのレーザートラッカーでは、途中で回転できる鏡をいれ、戻ってきた光の一部を PSD (Position Sensitive Device) で受け、鏡を動かすモーターにフィードバックを

かけ、手で持って移動するターゲット（反射鏡）を光は常に追いかける。我々の使っている Leica 社の SMART310（図6）は、距離の分解能は、1 μm 位だが、静止しているターゲットでは3次元座標値の精度は $\pm 10\text{ppm}$ （カタログスペック）である。ターゲットは $\phi 75$ の球形で、これが置ける台さえあれば、球の中心の位置を測れる。測定時間は短く（我々は1点に数秒かけている）、ターゲットの移動時間のほうが長い。

ターゲットのXYZ座標値がリアルタイムで表示されるので、ベースプレート、RFキャビティの設置、入射ビームラインなどのための床面のマーク、また偏向磁石のアライメントに使っている。ある座標値で位置決めをしたいときには、便利である。また、トンネルの中でネットワークをつくっての測量にも使っている。ただ、SMARTの場合は、組み込みのソフトを使う以外に、座標変換くらいの簡単なことは十分対応できるが、特定のルーチンをこなすには柔軟さに欠ける。また、測定器としても完成の域には達していないように見える。さらに、国内でのサポート体制の不備は避け難く、調子が少しくらい悪くても使わざるを得ない。

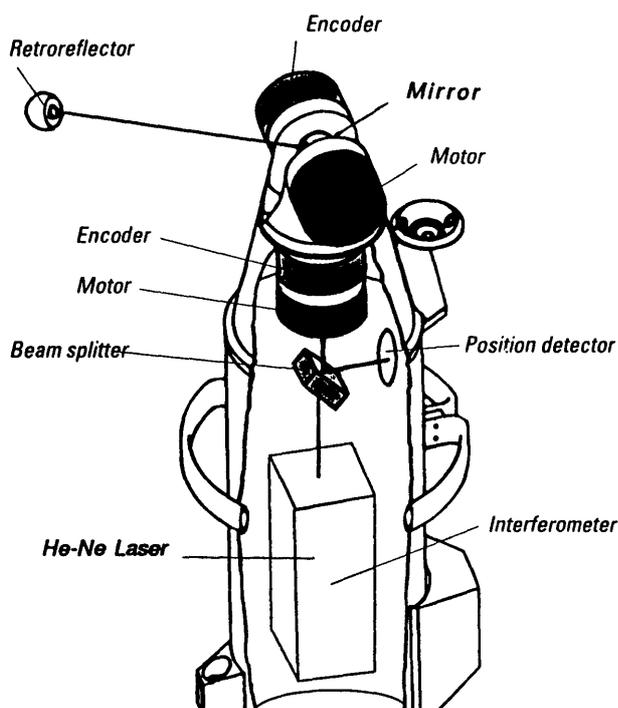


Figure 6. Sensor unit of a laser tracker SMART310.

得ない。スケジュールに影響が出るような使い方の場合は、契約の時に代替機の確保を盛り込んでおくほうが良い。

同様の製品は私の知る限り、もう一社のものがある。これら、高価ではあるが、手軽にある程度高精度に3次元の位置が読め、便利な道具である。また、使い方によっては、かなり高精度の測定も可能ではないかと思われる。

セオドライト2台をパソコンにつなぎ、距離の絶対値の正確な2点があれば、3次元の位置を手軽に出すという方法もある。これはトラッカーとはちがいで、ターゲットをそこに持っていく必要はなく、2つのセオドライトでその一点を見ることができればよく、高い所など非接触で測れる利点がある。我々も、T3000、2台と1.3mの棒（両端にターゲットシールが貼ってある。）、J3100でソフトを動かして、一部の偏向電磁石のアライメントを行った。

3.2 架台間測量

狭いトンネルの中での測量には、これまで、距離を測るインバールワイヤと、角度を測るために垂線の長さを正確に測る機器が使われてきた。我々は、レーザートラッカーの距離測定の精度がよいことを使って測量することにした。



Figure 7. Tracker target on the wall stage.

各架台の両端の磁石の上とトンネルの壁に15m おきに球が乗る台が固定されている(図7)。これらの上に $\phi 75$ のターゲットを置き、測量をする。2つの台の延長線上にトラックを置ければ干渉計の精度で距離を測れるが、すべての台間の距離をこの方法で測るのは現実には難しい。次に精度よく測れるのは、鏡からの距離である。これら、トラックの特性を調べ、精度を確保するようなネットワークを組むことができた。この測量の結果をもとに架台を調整した。測量-調整を2回繰り返した後の測量では、隣の架台との相対位置のずれは、標準偏差で $40\mu\text{m}$ であった。

4. レベル測量

4.1 床面のレベル

2), 3) は、水平面内でのことで、架台の高さの調整範囲や、ビームのレベルを決めるには、床面のレベルを測る必要がある。架台を置くあたりのトンネルの床面は、一か所を除き、 $\pm 20\text{mm}$ 以内に入っていた。

4.2 レベル測量の精度

精度の必要なところは、N3(内部に気泡管をもつ)を、作業性優先のところは、オートレベルNA2(Wild, 精密な気泡管はなく、ラフな円形気泡管を合わせるだけで良い)を使った。我々の場合、10m以下の短い距離で測ることが多く、N3だと、最小目盛り 0.1mm の中を目分量で読むので、さらに細かい線が入っていると精度が上がると思う。

N3の校正はかなり頻繁に行わないといつものまにかずれているということがよくあった。レベルは水平線を作ると言うが、実際には、調整しても視線は10mで 0.1mm くらいは傾くので、ターゲットから等距離の点にN3を設置する。この点を求めるのに同時に2枚のテープが出る巻尺を使っている。

目で見て合わせる、数値を読み取るという2つ

の作業があり、だれでも同じ値ということにはならない。当初、適当な人を少し訓練すれば、と思っていたが、難しかった。例えば、4m離れた2点を測るのに、ひとにより $20\sim 30\mu\text{m}$ の差がでる場合もあった。接眼レンズに対する目の位置、気泡管の合わせ具合など、人によるずれは避けられない。

また、接眼レンズのところの線とターゲットのパターンも重要である。テイラーホブソンの標準的なパターンは同心円であるが、我々は、図8のパターンのターゲットを注文して作った。図3にあるように、ターゲットのハウジング(底の面は $\phi 75$ の球面)に豆電球を付けて後ろから照らし、上には水準器をつけて、平行線を水平にし、N3の水平線をその中央に入れ、上下の振り分けで合わせる。これは平行線の例であるが、レベルで見たときの左半分と標尺の場合のように、楔形の斜めの線を使うのもいいかもしれない。

このテイラーホブソンのターゲットは、焦点さえ変えればそのまま後ろのターゲットも見ることができる。ガラスの平行度は2秒以内となっているが、厚みが 9mm もあるため、前のターゲットが斜めにならないことが大切である。

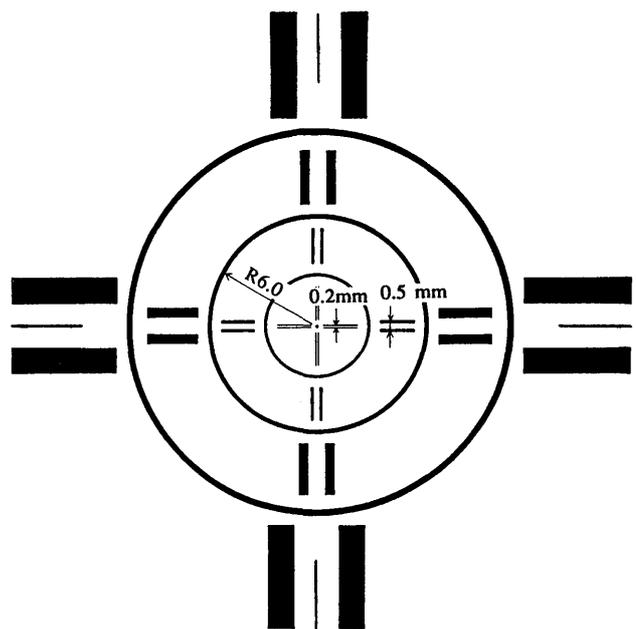


Figure 8. Target pattern for a telescope.

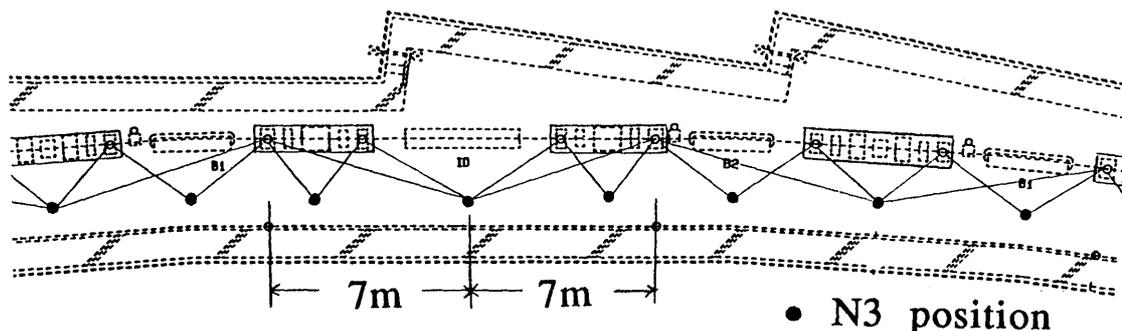


Figure 9. Network for the level survey.

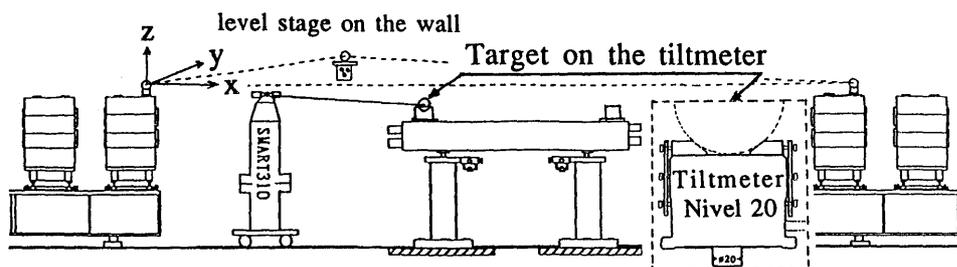


Figure 10. Make a coordinate system for the alignment of bending magnet.

N3に限らず、セオドライトなど、光学機器で目で見える場合、得られる精度は、個人差はあるが、空気のゆらぎがあまり無いときには、高精度の機器だと1秒 ($5\mu\text{rad}$) が一つの目安だと思う。目のいい人が慎重に測ればもう少し小さいが、何倍も良くなることはない。テイラーホブソン望遠鏡の30mで $50\mu\text{m}$ というカタログスペックは、かなり限界に近いように思われる。できるだけ人の視力によらない方法が望ましい。また、距離を変えていくと見えている十字線の交点の位置は直線上にはのらず少しずれるが、このずれの程度は、機器の精度により異なるので注意が必要である。

4.3 磁石据え付けのためのレベル測量

当初、レベルの測量の方針が甘く、全体の作業の中で何時、誰がどこを測るのか、をスケジュールに十分組み込んでいなかったため、その場その場の対応になってしまった。現在は、架台間のレベルの測量には簡単なネットワーク (図9) で、誤差を小さくし、人も限定している。

5. 偏向電磁石アライメント

各架台の位置が決まり、レベル測量の後、その偏向電磁石の両隣の架台の端の磁石を基準にして、レーザートラッカーを用い、アライメントを行う (図10)。NIVEL 20 という水準器の底面に $\phi 20$ の棒を接着固定し、上面には球形のターゲットがのる台をつけ、基準面にのせ、2方向の傾きと位置を同時に測る。必要精度は、XYZとも 0.5mm なのでこの方法で問題はない。

6. 光のビームライン墨だし

偏向電磁石アライメントとほぼ同時に、トンネル床面に光のビームライン用に2か所、マークをつける。まず、およその位置にアルミのシールを貼っておき、ターゲットをマイクロメーター付きのステージに乗せ、レーザートラッカーで位置決めし、正確に小さな穴を開けている。シールのりが強く、中心を 0.1mm 以下で調整してはるのは難しいのでこのように正確な位置はシールの中心からずれる。位置決めをしたところに正確にシールを貼る小道具を製作中である。

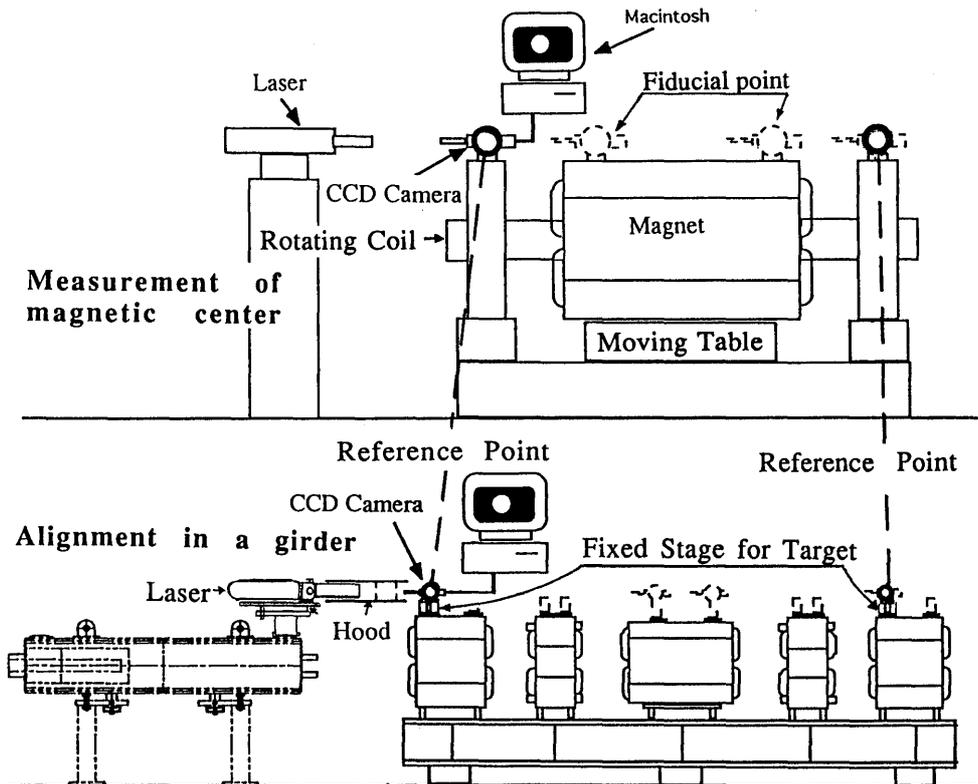


Figure 11. Measurement of magnetic center and the alignment in a girder.

7. 架台内アライメント

7.1 基準座の作り方

図11に磁場測定と、架台内アライメントの関係を示す。磁場測定器で磁場中心を測り、そのデータを使って、4~5mの架台に4極、6極磁石を並べる。磁場測定の2つの基準点が架台内アライメントの2つの固定式ターゲット台に対応している。

磁場測定でその個性（オフセット）を打ち消すように調整し固定できる台をすべての磁石につけている加速器もある。後で分かりやすいが、調整機構が要る。調整機構なしなら、ある値を読みとらなければならない。我々の場合は、架台の両端だけに、この調整をし固定する台をつけた。それは、架台間測量をしている時に、僅か1~2 μm でも動くとも測定の精度が落ちる、オフセットの計算が不要、架台内アライメントの時基準点として何度も使う、などの理由による。

我々の磁石の場合、基準として面と穴を使っている。これは面で高さや2方向の傾きを、穴の中心で2次元平面内の位置を表すもので、よく使

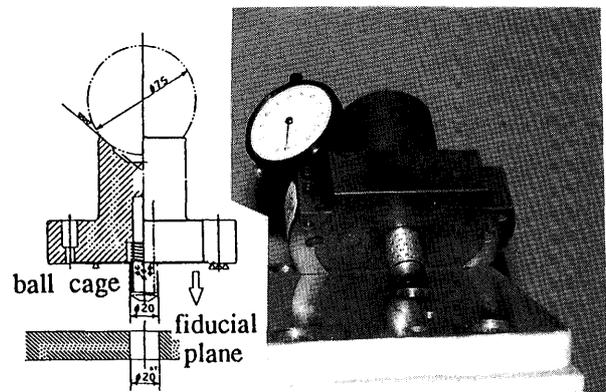


Figure 12. Detachable stage using ball cage.

われる。しかし、800台の2か所ずつの穴径（ $\phi 20\text{H7}$ ）のばらつきがH7の範囲21 μm を越え、ただの棒だと入りにくいものと、入れても少しガタのでもものができた。今回は、図12のようにボールケージを使うことで（株式会社ヒライ製）、2~3 μm の再現性を確保したが、穴を使う場合、常にこの問題につきまとう。穴は、インバールワイヤを棒で支えるようなときには必要かもしれないが、ターゲットを置くだけなら、テーパ面が良

かったかと思われる。球の中心で高さと水平面内の位置が決まる。今回は、レーザートラッカーのターゲットが $\phi 75$ の球なので、我々は、これをターゲットの基本形にした。CCDカメラのハウジングも同じにした。受ける台も皆同じになった。基準面にはすでに穴があったため、図12のような差し替え式ターゲット台を作ったが、その分エラーは積み重なった。

モニターの校正にも磁場中心の情報が必要なのでこのことも考慮されているのが望ましい。

7.2 傾きの測り方

すでに磁石の設計がアライメントの方式を決める前に終わっており、この水準器だと載せにくい、水準器の位置決め再現性がとれない、とか問題が出てきた。 $1\mu\text{rad}$ の分解能を持つ水準器はそれほど多くはなく、例えば、LeicaのNivel20、2次元の傾きを足3点で測る。これに対し、Taylor HobsonのTalyvel14は一つの細長い平面で1次元の傾きを測る。ところが、面が良くないと底が一平面の水準器は安定せず、3点の下駄を付けて測った。

μrad を扱う場合には、僅かのごみとか傷が障害になる。水準器のあたり場所を厳密に再現させる工夫、間隔もできるだけ長くとることが大切である。比較的綺麗な広い平面より、水準器に合わせた特定のところだけ綺麗な面にしておく方法もある。我々の場合、基準面にステンレスを使ったため、加工がやや難しかったのかもしれない。

精度のいい小型の水準器が国産にない。そのため、ほとんどサポートの体制がない外国の製品も使わざるを得ず、イライラさせられるときも多い。

7.3 レーザー & CCD カメラ

4~5mに渡って直線をどうして作るか。目で見るとならテイラーホブソンの望遠鏡、(これは、望遠鏡の対物レンズの外側に平板ガラスがあり、これを上下左右に傾け、視線を $10\mu\text{m}$ オーダーでずらせる(最小目盛り $20\mu\text{m}$)。あるとなかなか便利で、レーザーを使っている、大きなミスはないか、どのくらいまっすぐか、簡単に目で確認でき、捨て難い。測定範囲は $\pm 1.2\text{mm}$)。レーザー光なら検出器には4分割ダイオード、PSD、CCDカメラ、そして、レーザートラッカー、が考えられる。目では、数mで常に $10\mu\text{m}$ 以下の精度を確保するのは難しい。レーザートラッカーは、1台しかなく、精度もやや不足気味なので見合わせた。分割ダイオードでは、出力がlinearな範囲が狭いため、中心からずれると厄介で、そのため、レーザー光の調整も難しい。また、我々の持っているPSDは、 $10\mu\text{m}$ 以下は読めなかった。さらに、なまのレーザー光はガウス分布以外の高次モードを含んでおり、これらをそのまま足してしまおうと分割ダイオードを使った実験では、直線性の確保は難しかった。そのため $\phi 30\mu\text{m}$ ほどのピンホールで高次モードをカットするスペイシャルフィルターを使わざるを得ず、そうすると、実際の作業中では、光をモニターしないと心

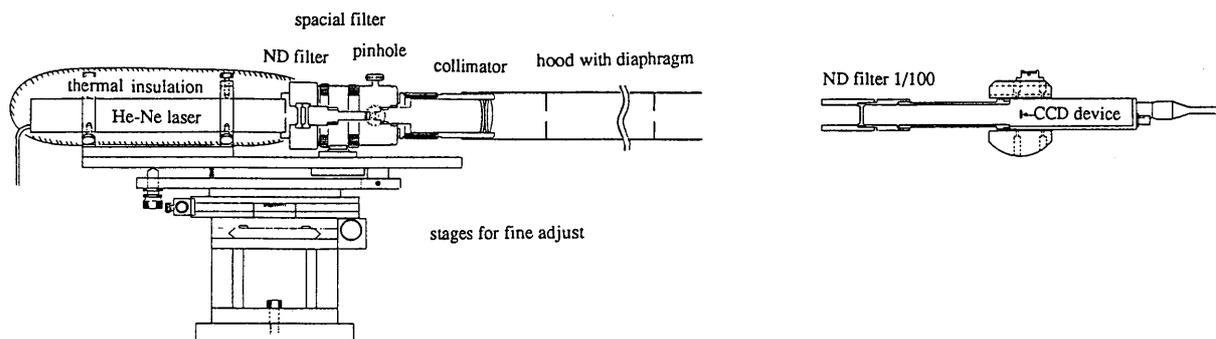


Figure 13. Laser source with a spacial filter and a CCD camera.

配なこと、これらから、CCDカメラを使うことにした(図13)。今回の素子は、 $8 \times 6 \text{ mm}$ で、ピクセルは $11 \times 11 \mu\text{m}$ 。光が通るところは、邪魔にならない限りできるだけ覆い、ゆらぎを抑えることが大切である。また、フードの内面には小角の散乱を止める絞りをいれた。レーザーの光軸は変動するが、トンネル内の温度変化は小さく、6m先で10時間のドリフトが $10 \mu\text{m}$ というデータもあるくらいで問題はなかった。しかし、磁場測定室ではエアコンから周囲と温度の違う風が吹き出すので、変化が大きく、レーザーを2重に囲った。レーザーチューブの回りに蓄熱材と断熱材を少しは巻いてはいるが、例えば、5分電源を切ると、光軸の回復には30分もかかった。

2mWのHe-Neレーザー光をCCD素子に直接当てると強すぎ、5桁以上弱くした。また、保護ガラスなどの面との干渉模様がで、これを除くための反射防止膜をコーティングした。これをほぼ完全に施したCCD素子もあるが、大きさなどで今回は、不十分にしか模様を消せていない素子

を使った。その他、細いガラスファイバーのプレートをCCD素子に載せたものをテストしたが、ファイバーのため角度依存性があり、使わなかった。また、レーザーの波長以外の光をカットできる干渉フィルターは、3~4枚のガラスからなり、多くの干渉模様を生じ、使えなかった。結局、レーザー以外の光を落とすには、コーティングつき1/100のND(neutral density)フィルター(吸収型)1枚だけとした。

7.4 画像処理

CCDの画像は、コンピュータ(アップルQuadra 840)に入れたボード(浜松ホトニクスIQ-V55)でAD変換(8ビット)され、ボード上のメモリーに126フレーム分(5秒)累積される。この2次元のデータを一方向に足して、1次元の分布にし、その重心を求めている。ボードと共に供給されているCのソフトを改造し、データ取り込みのコントロール、計算、画面表示などを行う。

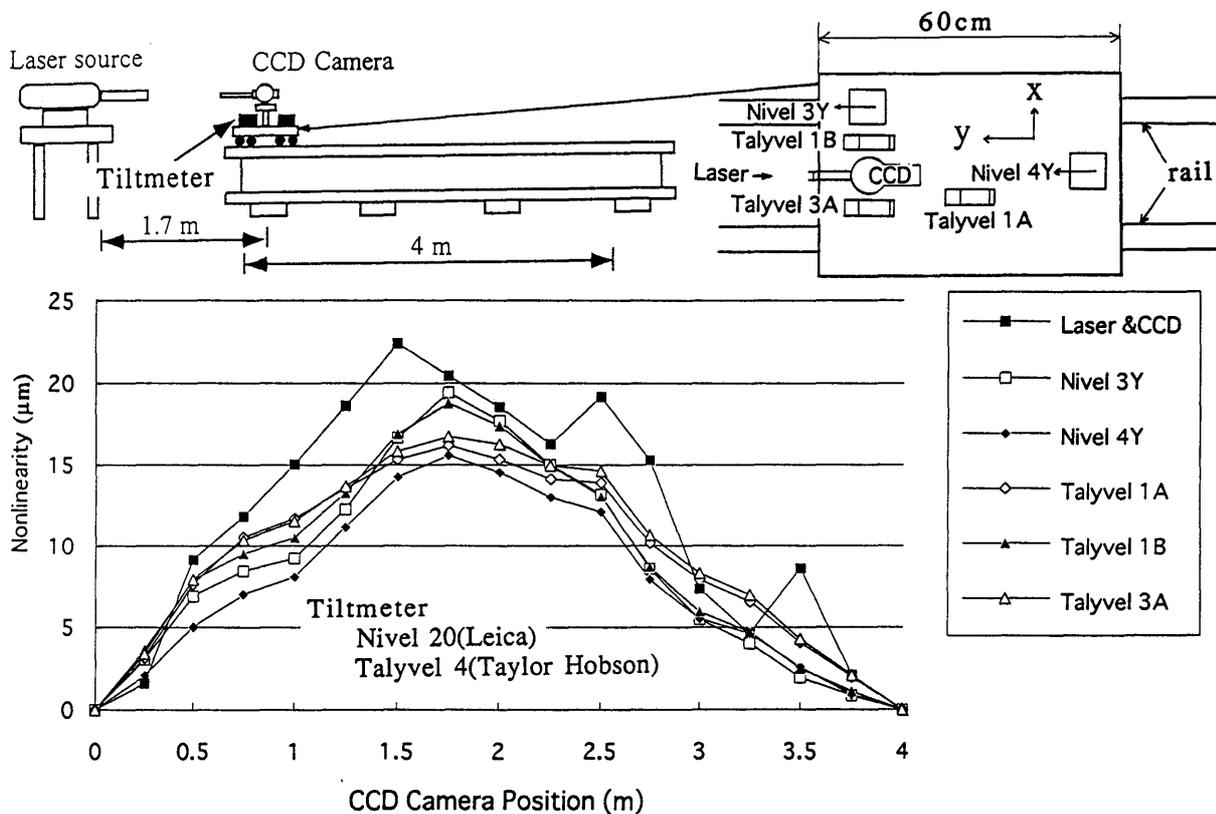


Figure 14. Linearity test of the laser and CCD camera system.

7.5 直線性テスト

このシステムでの直線性を4mのステージを用いて調べた。直線からの上下のずれを5つの水準器で測った値と比べた(図14)。水準器による値は、Y方向のみの傾きから計算したもので、2本のレールや台のねじれ(最大 $20\mu\text{rad}$)などは考慮していないが、2つの結果は数 $\sim 10\mu\text{m}$ の差でおさまっている。

7.6 磁石の微調整

調整すべき磁石には、8個のダイヤルゲージを取り付けてあり、CCDカメラと水準器のデータから動かす量が画面に表示される。作業者はダイヤルゲージを見ながらボルトを回す。ロックする時はせっかくの調整が崩れないよう、両側から締めるが、ダイヤルゲージがないと数 μm の動きは分からない。つける時間、作業がしにくいなどの問題があるが、今では、3人で半時間で1台の磁石を $10\mu\text{m}$ 以下まで調整、固定できており、このダイヤルゲージを使う方法が確立している。

アライメント後の各磁石の磁極の幾何学的中心を治具を使い、テラーホブソンの望遠鏡で測ると架台内で $\pm 50\mu\text{m}$ にほぼ入っている。

今回、磁石のサポート面に固体潤滑材を埋め込んだ摩擦係数0.1以下のオイルレスの支承板を用いており、細かい調整がスムーズに行えた。架台のサポートにもこの支承板を使っている。

8. 終わりに

最後に、書き残した点を思いつくままに記す。

3.1で述べた昨年のアライメントワークショップでは2年前のCERNのときにはなかった、ビームを使ったアライメント (beam based alignment) の発表が数件あった。設置する段階(ビームを通す前)のアライメントではそろそろ困難な領域にきており、ビームをふって調べ、微調整をするという方向に進みつつある、という感じを受けた。

長期にわたり据え付けていくので季節の変動と、空調の整う時期も絡んで条件は必ずしも良くない中で進めなければならなかった。磁石は簡単に膨脹するが、コンクリの床、壁は単純ではない。温度は重要なパラメーターで、トンネルの下に部屋があればそこも含めてできるだけ本番に近づけておくことが、後の再調整を容易にするのにつながる。

また、精密アライメントの後でも時間の経過、磁石の分割・復元後、ベーキング後、などいろいろな過程で変化しているのかいないのか、そのチェックが結構大変で計画の中に十分組み込んでおくことが大切である。

床面のレベルの変動についても、注意する所はあらかじめ測定しやすいように手立てを施しておく、計画に組み込んでおくのと良い。

軌道の真上に高いゲートバルブなどが置かれ、見通しが悪くなったりする場合があるので、避けられるなら、早いうちに対応しておくのが望ましい。

多くの人の努力でここまで据え付け、アライメントできた。これらに携わった人、特に竹下氏、磁石グループ、日立プラント建設(株)の人達のさまざまな協力に謝意を表したい。

補足 SPring-8 利用者

測量・アライメントに使う機器は高価なものも多い。しかし、常に使っているというものではないので、お互いに貸し借りしながらやっていくのが望ましいと思う。故障などの不安はあるが、一部のを除けば、測量器はかなり堅固にできているように見える。

通常セオドライトを使ってアライメントするイメージは多くの人を持っているが、レーザートラッカーはまだあまり知られていない。ゲートバルブなどで直線の見通しがとれなくなってもセンサーユニットが見える位置であれば測量できる。センサーユニットからの距離の10ppmの精度で簡単

に測れることから、床面の墨だし、アライメント、さらに実験前、中、後のアライメント確認を考へる際にこれも含めて検討してもらおうというのではないかと思う。これらの機器の詳細については、必要なら連絡下さい。

文献

- 1) 細野武庸, 井内登: 測量叢書 1. 改訂版, 基準点測量 (社団法人日本測量協会, 1992) 252.
- 2) 原田健久: わかりやすい測量厳密計算法 (鹿島出版会, 1992) 190.
- 3) S. Matsui et al.: Proceedings of the Fourth International Workshop on Accelerator Alignment 1995, KEK, Tsukuba, p174.

ちょっとひと息

モンペリエ 9 — アーレス —

モンペリエ会議の後で、ポストコンフレンスツアーがあるというので、そのチケットを買った。小さい集団だったが、参加者の過半数が日本人であった。まず、牧場に連れていかれた。広い牧場のなかで、SonntagさんとKunzさんが走りっくらをした。若いSonntagさんが勝った。Sonntag夫人が、「あなた、えらかったわね」とばかり、チュッとやった。牧場はいいところだったが、食事をはさんで長居していると飽きてくる。「これがツアーのすべてなんかな、それじゃ、つまらねえな、」なんて考えていた。

やはり、次の訪問地があった。案内係のお嬢さんの話によると、アールというところらしい。街の入口の辺りに駅があった。Arlesと書いた標識があった。「ここあ、アーレスてえところだぜ」と思い込んだ。案内嬢の発音はやはりアールだった。

このアーレスは素晴らしいところだった。ローマ時代の円形競技場がくずれた形で、しかし、原形をとどめたまま残っていた。散策した街の美しいこと、緑と原色の花、小さい公園、坂道、噴水、今でも断片的にその風景が目焼き付いている。

街の中央の広場を取り囲むように、少なくとも三つほど教会があったように思う。その日は大安吉日だったらしく、何組もの結婚式が行われ、広場は大混乱であった。式を終えて教会から出てくる花嫁花婿、着飾った身内の人達と友人達、一組が教会から出てくると、別の組が入っていく。その間、写真をパチリ、パチリ。御一行の車の行列。広場の中も、そこに入ってくる道

路も大渋滞であった。

アーレスからの帰途、エグモートなる所によった。美しいカマルグの湿地帯の中にある城廓に囲まれた古い街であった。Kunz婦人が

「この街は城壁の上から見るものだそうよ」と言ったのに合わせて、私達数人は最先に登った。外から見ると全くそうは見えないのだが、家並の内側は緑がいっぱいであった。「こりゃあ、たまげた」ってなもんである。城壁の外側の水のある風景もまた何とも形容しがたい美しいものであった。

帰途、パリのSRI会議のバンケットで会った日本からの留学生という人が、

「ああ、あそこですか。プロバンスのあの辺りは国立公園なんですね。私もこの間行ってきました」と言った。「もう二度と行くことはないだろうな」、などと思う今日この頃である。

さて、仙台に戻って、私は小学生の息子に言った。「お父さんはね。今度はアーレスというところに行ってきたんだよ。きれいなところだった」と話した。風呂に入ってビールを飲んでいると、息子が言った。

「お父さん、地図で見たんだけど、フランスにアーレスってとこないよ。アルルならあるけど」

「えっ、どれどれ」

と地図を眺めた。まさしく、かの地の名はアルルとなっていた。ガイドしてくれたお嬢さんの発音はアール。「そうか、あれも有名なアルルだったんだ。言われてみれば、あの辺りは、ヴァン・ゴッホって霧気だったな」

(石井武比古)