

エンジニアの道草ノート

- 長さとのさし -

青木 正喜*

Off the track notes of an engineer

- Length and a rule -

Masayoshi AOKI*

はじめに

「長さ」に関して、我々は身体各部の大きさを基準とする直感的感覚を各自が持っている。本稿では、人間を中心とした身の回りの大きさから、長さに関する言葉や概数（オーダー）について考察を加える。

1. はじめに

ほとんどの人が経験した小学校の運動会の玉入れでは、籠に入った赤と白の玉を同時に数えながら個数の比較をする。このように「はかる」基本は比較にある。「はかる」には「計る・量る・測る」の3種類の漢字が用いられ、それぞれの対象は「数、時間」・「長さ、面積、速さ」・「重さ、容積」である。「長さ」は「物差し (a rule, a measure)」を当てての比較が基本である。英語では「長さ・大きさ・量」を「はかる」場合の動詞として「measure」が用いられ、「物差しで計る」を「measure with a rule」の様に「measure」と「rule」の両方を用いて表現する。「size」は一般には「大きさ」の意味で使われ、人間や動物の間で、互いに大きさや力量を比較する状況に動詞として用いる「sizing each other」は、言い得て妙である。形容詞の「sizable」は「相当の量の」意味となり、ある学会の賞の副賞の説明に「a sizable money」とあった。曲尺（かねじゃく・まがりじゃく）は和英辞書には「a metal measure」と材質や、「a carpenter's square」と使用者側の2通りが載っている。巻き尺は「a tape measure, a measuring tape」とどちらも形状を表している。製図で用いられる雲形定規は、「curve template」や「curved rule」と素っ気なく、日本語の雲の連想は夢があり楽しい。「a slide rule」は計算尺で「a rule」と「尺」の使われ方に類似点があり面白い。

2. メーター（計器）

メーター (meter) はギリシャ語の (measure) が語源で、米語では (metre) と綴ることもあり、これはフランス語の影響である。計器と長さの単位[m]の両方に使われ、日本語ではメーターとメートルの2つの書き方があり、計器にはもっぱらメーターが用いられる。例えば電気・水道・ガス・タクシー等でよく使われる。(-meter) の名詞連結形として…計を意味する単語を構成する。日本語では…メーターと片仮名で書かれ、「メー」にアクセントを付けて発音されるが、英語では「-me」の直前の母音にアクセントがある事に注意する必要がある。電圧計 (a voltmeter), 電流計 (an ammeter), 速度計 (a speedometer), 温度計・体温計 (a thermometer), 気圧計 (a barometer) 等がある（本節では下線がアクセントを示す）。気圧計のバロメーターは片仮名で書かれると一般に判断の基準の意味で用いられる。(-meter) が付いていても媒介変数 (a parameter) や直径 (a diameter) は計器ではない。日本語では、アルコールを飲み過ぎた場合に、「メートルが上がる」という表現がある。

3. 目盛

物差しを対象物に直接あてて長さを計測する場合、基本的には目盛の原点を対象物の一方の端に合わせ、他方の端の位置に対応した目盛を読む。このとき、熟練者は最小目盛の10分の1程度までを目測で読む。長さの測定に用いられるノギス（英語では caliper）では副尺（vernier）によって、最小目盛の下を高精度で読める様にしている。

*成蹊大学 名誉教授 工学博士
(Professor, Emeritus of Seikei University, Ph. D)

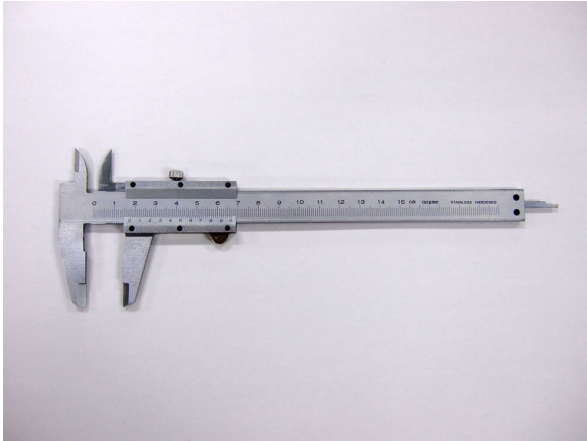


図1 ノギス (写真)

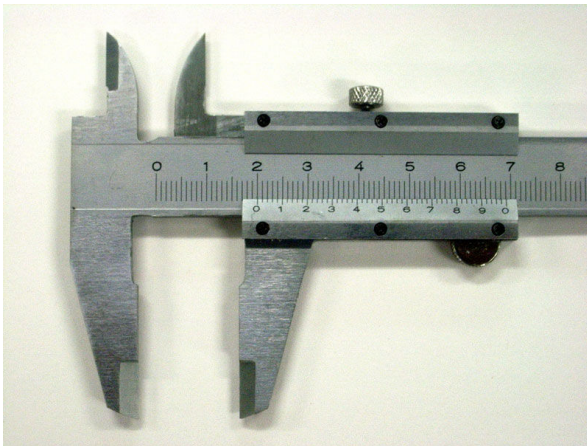


図2 主尺と副尺 (写真)

例えば同一の長さを 10 (20) 等分した正尺と 9 (19) 等分した副尺を用い、二つの目盛が直線上に並ぶ位置を用いる。これは人の目が、2 つの直線が一直線上に並んでいることの判定に敏感であることを利用する大変巧妙な仕組みである。ノギスの名称は P. Nonius (ポルトガル人) の名に由来する。ドイツ語では現在でも Nonius の名称が

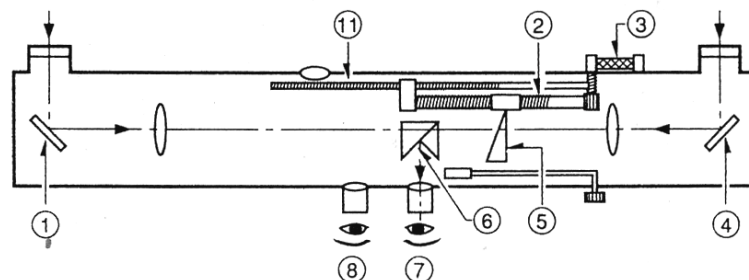
用いられ⁽¹⁾、英語でも 18 世紀までは Nonius の名称が用いられていた。日本にはドイツ経由で導入されたため、ノギスの名称が使われていると推測される。

数 cm 以下の厚さの計測にはネジを用いたマイクロメーター (micrometer caliper) が用いられ、対象物を挟むことにより、 $10^{-6}[\text{m}]$ (=マイクロメーター) の計測が可能である。最近ではレーザーの干渉を利用した厚み計が工業的に用いられている。肉眼用目盛の最小は 1mm が一般的である。ハードウェアとして、これまでに市販されているシリコン製の物差しの最小目盛は 0.31nm ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) である。上から見るとピラミッドのような三角形に見えるダイヤモンド製の立体で 0.2nm の高さの段差が産業技術総合研究所で開発された⁽²⁾。

4. 距離計

距離計 (distance meter) として用いられる代表的な原理としては、三角測量 (triangulation) と飛行時間 (time of flight) がある。測距儀は三角測量の原理を利用し、三角形の決定条件の二角挟辺により、挟辺を基線とし、その両端から対象物を見る角度を用いる。基線が長いほど遠距離の計測が可能であり、戦艦武蔵では基線長が 15m で 45km までの計測が可能であった。レンズシャッターカメラにも、この原理に基づく二重像一致式の距離計が用いられていた。

飛行場で回転しているパラボラアンテナはレーダー (radar: radio detection and ranging) 用である。レーダーでは波を発射し、対象物体からの反射を検出し、その往復の半分の飛行時間 (time of flight) と媒体の速度から距離を得る。媒体としては電波、光、音波が用いられる。



バー・アンド・ストラウド式測距儀の原理

標的をねらい左右の鏡①、④からの光線が中央のプリズム⑥で直角に曲がり右目⑦に入る。⑩のように像が分れたとき距離環③を回し、ネジ②で偏角プリズム⑤を送り⑨のように上下一致させ左目⑧でスケール⑪上の距離を読む。

図3 光学 (二重像一致式) 距離計⁽³⁾

自動車の障害物検出用には電波や光が用いられる。測量では光（レーザー）を媒体とし、測定対象位置にコーナリフレクターを置き、確実な反射を得る。射撃やゴルフ等の距離計もレーザーを用いている。写真機の距離計や自動車の近接センサーとしては、超音波を媒体として用いる場合がある。超音波による距離測定を行う動物としてはこうもりやイルカ等がよく知られている。

位置計測に用いられる GPS (global positioning system 全地球測位システム) は、複数の衛星からの電波の到達時間（位相）を用いている。船舶の位置計測に用いられる、ロランやオメガは複数の地上基地からの電波の到達時間（位相）を用いている。

5. メートル原器「アルシーブ原器」

広く使われている国際単位系 (SI: Systeme International d'Unite's フランス語) の長さの基本単位はメートル (metre, 単位記号 m) で、英語のスペルは計器のメーターと同一である。片仮名表記はメートルとは異なるメーターも日常的には使用されている。1メートルの長さは、最初は白金の板で作られたメートル原器の両端面の間隔として定義された。この原器は (フランス) 共和国文書保管所 (Archives des Republique) (Republique の最初の e はアクサンテギュ) に保管されていたため、「アルシーブ原器」とも呼ばれている。「archives」は英語では「archive」で、片仮名ではアーカイブと表記される。その後白金 90%, イリジウム 10% の合金により断面が X 字型の新原器が作られ、原器に刻まれた線と線の間隔 (線基準) として定義された。この精度は 1m で $0.2\mu\text{m}$, 0.2×10^{-6} 程度であったため、最終的には真空中で 1 秒間の 299 792 458 分の 1 の時間に光が進む行程の長さに置き換えられた⁽⁴⁾。

6. 身の丈

1 メートルの長さは身の丈である人間の大きさと密接な関係を持っており、ヨーロッパやオリエント諸国に流布していた「ものさし」の平均に近いものとして選ばれた。いくつかの例をあげると、イギリスのヤードが 0.9144m でほぼ 3 尺である。フランスのトワーズが 1.95m でほぼ 1 間、これは子午線測量に実際に使われた間棹 (けんざお) の長さである。長さの単位は人間の各部の大きさに基づくものが多い。古代オリエントでは「ひじ」の長さをキュービット (約 480mm), その 2 倍がダブルキュービットでヤード (約 910mm) の基になっている。足

の長さがフート (foot, 複数が feet), 手の幅が尺やスパン, 親指の幅が寸である。指の幅はウイスキーをグラスに注ぐ時に, one finger, two fingers の様に用いられる。人間の 1 個の細胞に含まれる DNA の長さの総延長は約 2m である。生身の人間の能力の記録 (男子) のいくつかを見ることとする。垂直跳びではケイダー・ジアーニの 152cm という記録があり, その場跳びで, 自動車をやり過ごせそうである。走り幅跳びではマイク・パウエルの 8m95cm という, 9m にあと少しで届く記録がある。走り高飛びではハビエル・ソトヨマルの 2m45cm という記録があり, 忍者並みに屋根に飛び上がれそうである。投擲競技ではランディー・バーンズが砲丸投げで 23m12cm の記録を出している。砲丸の重さは 16 ポンド (7.260kg) である。槍投げではヤン・ゼレズニーが 98m48cm の記録を出している。槍の重さは 800g と 1kg に近い。道具の助けを用いた競技としてはセルゲイ・ブブカが棒高跳びで 6m14cm の記録を出している。この高さは 2 階の屋根の高さに相当する。

我々が身の回りで使う道具は, 身の丈の 10 分の 1 前後の大きさが多い。

7. 地球の測り方

地球の大きさを最初に測定したのはギリシャのエラトステネスと言われている。「地球の歩き方」は旅行案内シリーズのタイトルであるが, 伊能忠敬は地図作成のために歩いて, 歩数による測量を基本とした。地球の子午線の長さの測定は, 1 メートルの長さを決定するために, フランス革命のまっただ中, パリ科学学士院が計画・実行した⁽⁵⁾。パリ科学学士院の命をうけたメシェンとドゥ・ランブルの 2 人が, パリを通る子午線上で北はダンケルク, 南はバルセロナまで三角測量を行った。三角測量するためには, 出来るだけ遠くから確認出来る高い塔を立てる必要があり, 革命真ただ中のためこれがスパイ行為と間違えられ, 2 人は何回も捕まるはめになった。この 2 つの例は, 文字通り「足で稼いだ (測った)」典型である。地球の子午線の長さが 40000km と綺麗な数字になっているのは, 基本的にはこのように定義されているためである。地球の半径 R は, 逆に子午線の長さから $40000/2\pi$ [km] と簡単に求められ, 細かい数字を覚える必要はない。

8. 地球を7周半

光の速さは 3×10^8 [m/s] で、子午線の長さ 40000km ($=4 \times 10^7$ [m]) を用いて、1 秒間に地球を 7 周半と比喩的に言われる。我々が毎日 1 時間 4km を歩くと、約 27 年 5 ヶ月で地球を一周する計算になる。マラソンの距離は 42.195[km] であり、マラソンやジョギングを継続的に行う人は、一生の内に地球を数回まわる。例えば 2004 年に 92 歳で 27 回目の日本スリーデーマーチに参加した男性は、2001 年に総距離が地球 3 週を突破した⁽⁶⁾。

芭蕉が奥の細道で踏破したのは 600 里、2400km である。数 1000km から数 10 万 km の距離は我々の日常生活や身体の種類データとつながりが深い。人間の血管は、動脈、静脈に、末梢血管の全てをつなぎ合わせると、その長さは約 10 万キロメートルで、地球を二周半する長さとなる⁽⁷⁾。脳内の神経の長さは、樹状突起をすべてつなぎあわせると、50 万キロメートルと全身の血管の 5 倍ほどとなる。DNA の長さに至っては、1 個の細胞に含まれる DNA の総延長が 2m で、1 人の全ての細胞 (60 兆個) を 1 本に繋げると 2×10^{12} [m] と、太陽系 2 周以上の長さとなる⁽⁸⁾。自動車の距離計は 100 万 km で 0 にリセットされる。タクシーは年間平均で約 11 万 km 走行し、走行距離 45 万 km まで使用する。タクシーの運転手が年間 10 万 km 以上走行し無事故・無違反であれば優良運転手となる。地球上で日本の裏側となる南アメリカまでの距離は、子午線の長さの半分の約 2 万 km である。宇宙から見える唯一の建造物と言われる万里の長城は、最近の測量で総延長 8851.8km (約 1.5 万里) と地球の半径より長い⁽⁹⁾。世界一長い川はナイル川で、6695km というデータがあり、これは地球の半径に近い。弓状の日本列島の本州弧は約 1300km であり、アサギマダラという蝶の渡りの距離は 1600km と本州弧を超えている⁽¹⁰⁾。

9. ガリレオ・ガリレイ

約 400 年前の 1609 年に、ガリレオ・ガリレイが自作の望遠鏡で初めて宇宙を観測した。これを記念して国際連合、ユネスコ、国際天文学連合は 2009 年を世界天文年 (The International Year of Astronomy) と定めた⁽¹¹⁾。宇宙の定義は高度 100km 以上と東京-熱海の距離に近く意外に低い。人工衛星は低軌道 (Low Earth Orbit) で高度約 300km-1500km、スペースシャトルの巡航高度は約 240km (エンデバー Endeavour では 220km)、スペースシャトルにより最後の修理が行われたハッブル望遠鏡の高度は 600km、静止衛星 (geostationary satellite) の高度

は約 36000km である。

地表からの上下方向に見ていくと、日本の最高峰である富士山の高さは 3772m、ボリビアのウユニ塩原 (Salar De Uyuni) は標高 3700m と富士山とほとんど同じ高度である。アフリカのキリマンジャロ (Kilimanjaro スワヒリ語で「輝く山」、山頂にある氷河に由来する) は 5895m、世界最高峰のチョモランマ (Chomolangma / Chomo Langma) の高さは 8844.43m で⁽¹²⁾、地殻運動の結果としての地球の皺である。この高さは、直径 1m の大きさの地球儀でも 0.7mm にしかない。

この他の山の高さとしては、ハワイのマウナ・ケアが 4205m、南極大陸のヴィンソン・マッシーブが 4897m である。話は横道に逸れるが、富士山撮影の長距離記録としては、2001 年に和歌山県那智勝浦町から 322.9km の距離を隔てての撮影が記録されている⁽¹³⁾。

ジェット旅客機の巡航高度は約 10000m と、成層圏 (stratosphere) と対流圏 (troposphere) の境界付近である。紫外線増加の原因として、冷却ガスに因る破壊が問題になっているオゾン層 (ozone layer) は 20-30km である。海面下の深さに関しては、深海は一般的には 200m より深い海と定義されている。マリアナ海溝のチャレンジャー海淵が約 10920m で一番深く、1 万 m を超えている。

10. アポロ計画

40 年前の 1969 年 7 月 20 日にアポロ 11 号でアームストロング、オルドリンの 2 人の宇宙飛行士が月面に降り立った。一連のアポロ計画の TV 中継で「roger: 了解」が頻繁に使われた (同時通訳 西山 千氏) が、元は無線用語で、辞書を引くと無線とは関係のない意味深長な別の意味を発見する。脱線 (off the track) はここまでとし、地球と月の距離関係に戻る。地球と月の距離は約 38 万 km で、電波による通信で片道約 1.3 秒かかる。アポロ計画で実現した月面探査では、月面探査機の地球からの制御は遅れ時間が大きく不可能なため、自律走行を行った。太陽から地球へ光が届く時間は約 8 分である。火星までの距離は約 6000 万 km で、ロケットを用いた往復には 3 年を要する。

大きな数は天文学的数字と言われ、仮数 (mantissa a)、指数 (exponent p)、基数 (radix r) を用いて arp の形式で表され、この表記法を科学的表記 (scientific notation)、浮動小数点表記 (floating point notation) と呼ぶ。非常に小さい数値の表現にもこの表記法は適用される。非常に小さい数に関する名称については定かではない。天文学

的距離としては光が一年間に進む距離 ($c \times 60 \times 60 \times 24 \times 365$ $c \approx 3 \times 10^8$ m/s: 光速) として光年が用いられる。太陽以外で最も近い恒星のプロキシマ・ケンタウリ (Proxima Centauri) までの距離は 4.2 光年である。日本語の「すばる (昴)」の名前を持つプレアデス星団までの距離は 410 光年である。

11. 新 幹 線

新幹線の車両一両の長さは 25m, 一編成は 16 両で全体の長さは 400m となる。陸上競技場の標準的なトラック一周が 400m である。自動車の信号伝送を受け持つケーブルのワイヤーハーネス (wire harness, cable harness) は総延長 2km に達する。山手線一周は 34.5km である。人力飛行機の日本記録は日本大学による 50km (2005 年 8 月 6 日) で⁽¹⁴⁾, 山手線一周半である。世界記録は 1988 年にアメリカの MIT が達成した 116.6km と、日本記録の倍以上である。

建造物の高さでは、摩天楼の象徴であるニューヨークのエンパイア・ステートビルは 381m で、過去に小型飛行機が衝突している。横浜のランドマークタワーは 296m, シカゴのシアーズタワーが 442m, 現在最も高いとされているのは、台湾の台北 101 で 508m。現在建設中で 2009 年に完成予定の「ブルジュ・ドバイ」は 800m 以上と言われている。南米ベネズエラにあるエンジェルフォール (Salt Angel) は世界最大の落差 978m を誇る。

地上 TV のデジタル化で消えてしまう運命の、薨の波ならぬ UHF TV アンテナの幅はアナログ TV 電波の波長の半分の約 1.5m である。周波数を 100MHz と仮定すれば、波長は 3m である。衛星放送の受信にはパラボラアンテナ (satellite dish, parabolic satellite antenna) が用いられる。パラボラ (parabolla) は放物線を意味し、アンテナの断面形状を表している。放物面鏡 (Parabolic mirror) が光軸に平行に入射した光線を一点 (焦点) に集める性質を利用している。周波数を 12GHz と仮定すれば、波長は 2.5cm となり、光に類似した性質を持つようになるため、お皿の形状をしたパラボラアンテナが用いられる。紙の大きさは、A 版、B 版ともに二つの辺の長さの比が 1 と $\sqrt{2}$ で 2 つに折った長方形が元の長方形と相似となる (黄金比 1:1.6 とは異なる)。A4 の紙の短い辺の長さが丁度 21cm である。世界の紙の大きさの標準は A 版で、B 版も使っている国は少数派である。長さ 10cm の目安として身近にあるものは、台所で見かける立方体の味噌パッケージの一边である。1kg の水の体積は 10 (リットル) で、一边が 10cm の立方体の体積である。

12. 間髪を入れず

髪の毛の太さは細い物の象徴として、危機一髪 (narrow escape), 間髪を入れず等に用いられる。後者は長さ (太さ) から時間に置き換えて用いられている。和英辞書で「間髪を入れず」を引くと in next breath, in two shakes, as quick as lightning, as quick as a wink, as quick as a flash 等が見つかるが、「髪」は使われないようである。その髪の毛の太さは $100 \mu\text{m}$ ($0.1\text{mm}=10^{-4}\text{m}$) 程度である。磁気ディスクのマニュアルで髪の毛の太さやタバコの煙の粒子の大きさよりもヘッドギャップの大きさが小さい事を示したイラストを見た記憶がある。話は横道に逸れるが JAS 法上の麺類の太さによる定義は、「うどん 1.7mm 以上」「冷や麦, そうめん 1.7mm 未満 (ただし機械製以外の手延べめん)」である⁽¹⁵⁾。飛行機の表面の塗装の厚さは 0.1mm で、使用する塗料の量は B747 型機で約 6000=ドラム缶 3 本, 乾いた後の重量は約 200kg である⁽¹⁶⁾。コンタクトレンズの厚さは 0.07mm, 埋め込み用 IC チップは最小 0.05mm が実現されている。紙の厚さはコート紙の最も薄いものが 0.06mm ($=60 \mu\text{m}$), 辞書に用いられるインディアン紙の最も薄いものが約 0.02mm ($=20 \mu\text{m}$) である⁽¹⁷⁾。最高の展延性を持つと言われている金は厚さ 1 万分の 1mm ($10^{-5}\text{mm}=10^{-8}\text{m}$) と $10 \mu\text{m}$ にまで薄くなる。金を 1 万回叩くことによりこの薄さが得られる⁽¹⁸⁾。

スーパーインクジェットプリンタは 1000DPM (dot per millimeter) と線の太さ (細さ) が $1 \mu\text{m}$ である。最近環境省が環境基準を設ける方針を打ち出した、空気中の有害物質である微小粒子状物質「PM2.5」は、空気中を漂う直径 $2.5 \mu\text{m}$ 以下の粒子状物質 (PM: Particle matter) の総称であり、発生源は、焼却炉や工場などの煙、自動車や船などの排ガス、大気中の化学反応による二次発生等である⁽¹⁹⁾。

$1 \mu\text{m}$ の 1000 分の 1 が nm (ナノメートル 100 万分の 1mm) で、カーボンナノチューブで筒が一層だけの最も細い管の直径は 0.7nm である⁽²⁰⁾。原子の大きさが平均して約 0.1~0.2nm である。新型インフルエンザの世界的流行の原因となっているウィルス (virus) は数 10~数 100nm, 細菌 (バクテリア bacteria) は小さい方が約 $1 \mu\text{m}$ (1000nm) といわれている。半導体の分野ではムーアの法則が言われ、素子の集積度が指数関数的に増加している。これに伴い半導体で素子を構成する場合の線幅 (プロセス・ルール) が 100nm を既に切り、現在は 40nm である、2013 年には DRAM における最小プロセス・ルールとして 32nm が想定されている。2006 年には、米 IBM

が半導体内部の回路幅世界最小の 29.9nm の超微細加工技術開発に成功と発表した⁽²¹⁾。

可視光は、波長 360～830nm の範囲の電磁波を言う。膜 (membrane) や隙間が光の波長に近づくと表面と裏面で反射した光との干渉が起きる。シャボン玉では膜の厚さが数 100nm になると色がつき、水面に浮かんだガソリンの膜が色づくのがこの現象の身近な例である⁽²²⁾。平らなガラスの上に凸レンズの凸の部分を下にして置いたときに中心から同心円状に見られる干渉縞をニュートンリングという。レンズでは内部反射防止膜をコーティングする。微細な膜の測定には干渉計が用いられる。真珠の虹色の光沢も層状の薄い膜による光の干渉の結果である。超薄膜としては、厚さ 35nm で 4cm 四方の膜の作成に理化学研究所が成功している⁽²³⁾。

13. おわりに

長さの比較基準には、身の丈との関係が深い。我々の身の回りにある日常的な物の中から、概数のヒントを見つけ出すことも興味深い。技術の進歩はナノの世界を実用へと導いている。ナノの領域は、我々の直接的な感覚に結びつきにくい面もあるが、物理的な物差しが作られるところまで進歩している。

参考文献

- (1) 木村・相良 独和辞典 博友社
- (2) 世界最小 ダイヤ製「物差し」, 朝日新聞, 2009.4.19
- (3) カメラと戦争 小倉磐夫 朝日新聞社 p. 13
- (4) 丸善 単位の辞典 二村隆夫監修 丸善
- (5) 「万物の尺度を求めて」ケン・オールダー著, 吉田三知世訳, 早川書房, ISBN4-15-2088664-5
- (6) 皆勤賞 3 人の「歩み」 地球 3 周, 健康に自信 朝日新聞, 2004.9.21 25 面
- (7) <http://www.e-kao.net/mame/kekkan.htm>,
<http://ja.wikipedia.org/wiki/血管>
- (8) 遊びの分子生物学 竹村政春 Agora 2008 年 11 月号 52 ページ
- (9) 万里の長城 2000km 長かった 朝日新聞 2009.4.20
- (10) アサギマダラ中国へも渡る 1600 キロ 初確認 朝日新聞 2008 年 12 月 27 日 1 面
- (11) 百後天覧 福岡伸一 Science Signature, Vol. 49, No. 5, 2009, pp. 18-19
- (12) エベレストは 8844.43 メートル 中国政府, 威信か

け測定 朝日新聞 2005 年 10 月 10 日 38 面

- (13) 富士の朝 304 キロかなた 三重から撮影 朝日新聞 2003 年 8 月 13 日 1 面
- (14) 青鉛筆 朝日新聞 2005 年 8 月 7 日 39 面
- (15) 料理の知恵袋 朝日新聞 2005 年 8 月 6 日 e3 面
- (16) 航空豆知識 第 26 回 Agora May 2000, p. 52
- (17) JIS Z8120
- (18) 2009.1.14 NHK TV 美の壺 金箔 厚さ 1 万分の 1mm ($10^{-5}\text{mm}=10^{-8}\text{m}$) 1 万回叩く
- (19) 2009.5.28 朝日新聞 空気中の有害微小物質 PM2.5 に環境基準 環境省方針
- (20) 新素材「カーボンナノチューブ」 朝日新聞 2002 年 8 月 24 日 5 面
- (21) 世界最小の 29.9 ナノメートル 米 IBM が半導体技術 朝日新聞 2006 年 2 月 21 日 13 面
- (22) http://web.canon.jp/technology/s_lab/nano/001/01/002.html
- (23) 毛髪の 2 千分の 1 超薄膜 理研開発 朝日新聞 2006 年 5 月 22 日 3 面