

第8章

マイケルソン・モーレーの 実験を検証する

光速度不変の原理を実証した実験の1つにマイケルソン・モーレーの行った実験があります。反射鏡を使って光を反射させ、地球の動きに影響された光速度を検出しようとした実験です。

現在では当時のマイケルソン・モーレーの装置よりもはるかに繊細な装置で実験観測が続けられているようですが、光速度の変化は観測されていないと言われています。

この実験から相対論の関係式が導けることから、理論の正しさを主張するには最適な事例として度々紹介されています。

もし、本当にこの実験から相対論の関係式が導出されているとすれば、実験式にも多くの見落としや勘違いがあるはずで、数学的に間違っただけの理論を証明している実験が存在するはずがないからです。

マイケルソン・モーレーの実験を、相対論と同じような視点から丹念に検証することで、今まで誰も解明できなかった謎が明かされる可能性があります。



実験の概要

「光は波であるか粒子であるか。波であるならそれを伝える媒体があるはずだ」

このように考えた科学者は、まだ検出されない未知の媒体にエーテルと言う名前を付けて、その検出に挑んできました。

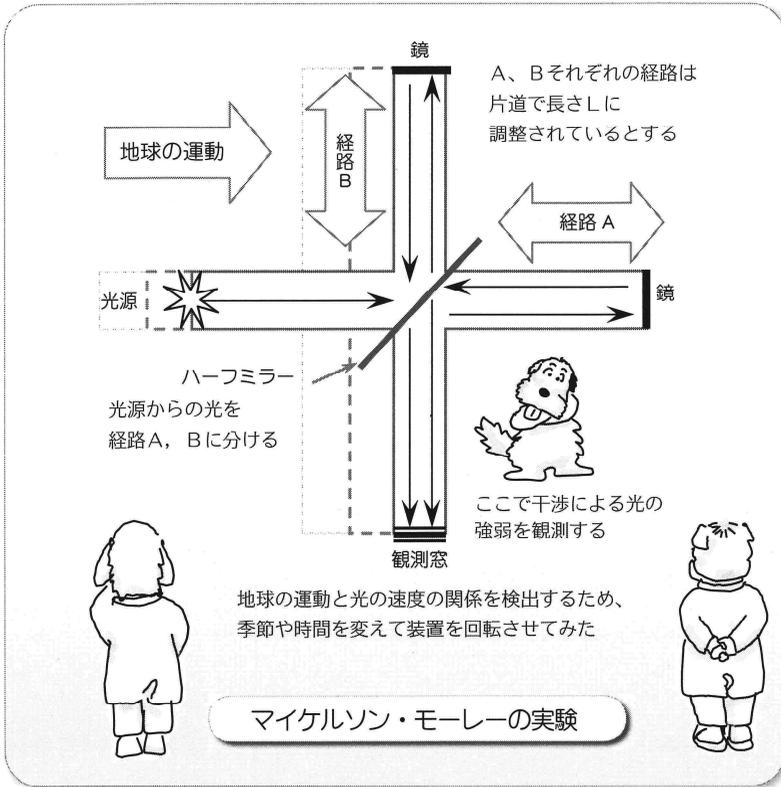
マイケルソンとモーレーもそうでした。彼らは地球上で光速度を精密に測定できれば、光速度の変化からエーテルの存在を立証できると考えました。

地球は太陽の周りを回り、その太陽も銀河系を回り、銀河系も宇宙の中では固定された存在でないので、地球は宇宙の中で固定された座標系を持っていないと考えられます。

もし、エーテルが存在するなら、運動している地球上で光の速度は方向によって変化するはずですが、ただし、エーテルが地球の運動に引きずられず、なおかつ光速度が光源の速度に影響されないという**前提**においてです。

実験装置は光源から発せられた光をハーフミラーで2つの経路に分割し、十字形をした装置の中を往復させるものでした。ちょうど90度の角度に分けられた光は、地球の運動方向との関係で、それぞれの速度が異なると予想されます。

速度の異なる光は互いに干渉するので、装置を往復した光を干渉させれば、間接的にエーテルの運動を検出できるはずでした。ところが、どの方向へ装置を回転させても光は干渉せず、光速度が地球の運動に影響されず常に一定であることが証明されました。



当時の科学者はこの結果を古典物理学の範囲でうまく説明できず、結局は光速度が不変であることを認めざるを得なくなったようです。

確かにこの実験を古典物理学で解析しようとすると、実験結果と一致しないようです。

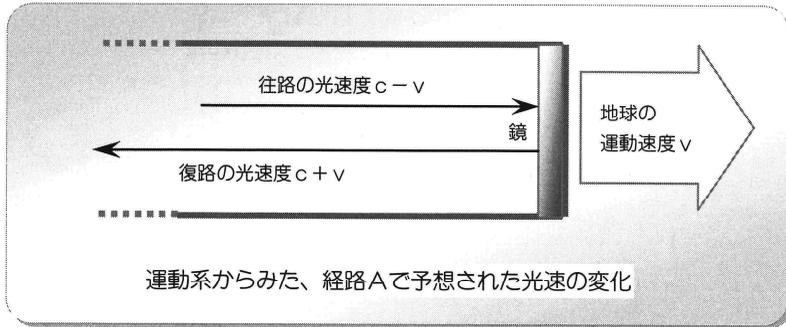
そこで、実験結果と同じになるように未知の関数を仮定して修正すると、奇妙なことにその修正関数が相対論の関数と一致します。

アインシュタインはこの実験のことを全く知らずに光速不変の原理を発想し、相対論を構築したと主張していたので、式の一致は相対論の信憑性を高める結果になりました。(実験を知っていて、逆算したのなら話は別です。)

否定された古典物理学

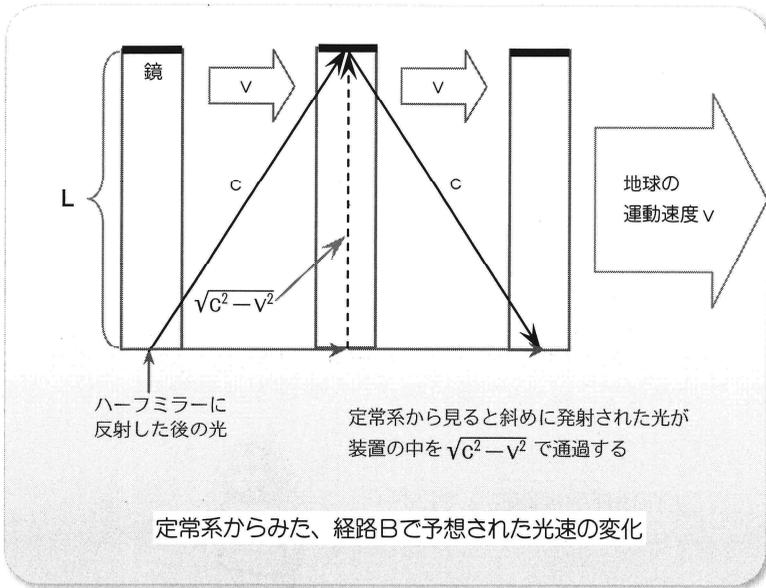
実験では古典物理学で時間差を予想していました。まずは、その式を見てみましょう。

経路Aを光が走るのに要する時間 T_A は…。



$$\begin{aligned} T_A &= \frac{\text{(光の走った距離)}}{\text{(往路の光速度)}} + \frac{\text{(光の走った距離)}}{\text{(復路の光速度)}} \\ &= \frac{L}{c - v} + \frac{L}{c + v} \\ &= \frac{2cL}{c^2 + v^2} \quad \dots\dots 8-1 \text{式} \end{aligned}$$

経路Bを光が走るのに要する時間 T_B は…。



$$\begin{aligned}
 T_B &= \frac{(\text{光の走った距離})}{(\text{往路の光速})} + \frac{(\text{光の走った距離})}{(\text{復路の光速})} \\
 &= \frac{L}{\sqrt{c^2 - v^2}} + \frac{L}{\sqrt{c^2 - v^2}} \\
 &= \frac{2L}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad \dots\dots 8-2 \text{式}
 \end{aligned}$$

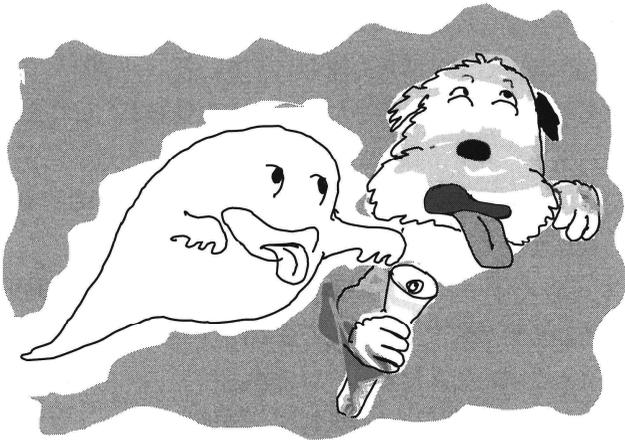
発光の瞬間も c ?

「光速不変の原理は光の速度は常に一定値 c で、絶対に変化することは無い」



「じゃあ、ライトを点けた瞬間はいきなり速度 c に加速したことにならない？」

相対論では絶対に光速を超えられないはずだけど、光を出ただけで時間 0 で無限大の加速度になるよ。それとも、ライトを点けた時は時間が止まってるってこと？」



時間も凍る？



式に惑わされた検証

マイケルソン・モーレーの実験の実験式は、科学者や数学者の厳しい検証に絶えてはきましたが、もっと根本的な部分での検証はまだ終わっていません。

検証というと、計算の正否にばかり気にしてしまいがちですが、相対論の間違いが作式段階の思い込みや習慣にあったように、この実験でも作式と証明**プロセスを検証**します。

まず、8-1式の中の光速度に着目します。

定常系から見て速度 c で発射された光が、運動系の経路Aの往路で $c - v$ となっているのは、ガリレイ変換をそのまま応用してあるので問題ないします。

次に、その光が鏡に反射されて戻る光が $c + v$ になっている点はどうでしょうか。光は波として定常系で速度 c で進むので、運動系である装置に向かって来る場合、速度は加算され $c + v$ となります。これも正しいようです。

と、このように復路の計算を簡単に片づけてしまうのが一般的ですが、ここで少し視点を変えてみましょう。

マイケルソン・モーレーの実験装置は地球上にあり、運動系です。検証式も運動系から見た式です。さらに古典物理学の検証なので、古典物理学に忠実に従った場合を前提としています。

以上の条件から、検証式にはある制約が発生します。

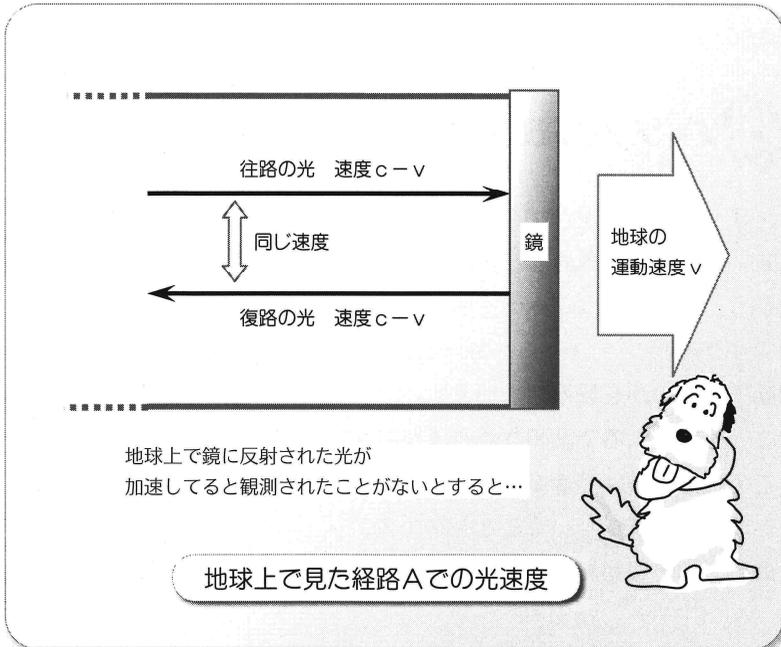
古典物理学に反した現象を含んでいないこと

昔から信頼されてきた古典物理学に反しないように作式されているからこそ古典物理学の検証に使っているはずですが、残念ながら検証式はこの条件を満たしていません。

地球上で復路の光速度が $c + v$ と観測されるということは、速度 $c - v$ で鏡に衝突した光が $+ 2v$ だけ加速されて反射されていることになります。光が加速されると波長や周波数が変化します。

日常、私たちが鏡に反射した鏡像が見る方角によって色が変るといふ現象を体験することはありません。それは人の感覚では捉え切れないほどの変化が起きているからだとも考えることもできます。

しかし、マイケルソン・モーレーの装置よりさらに検出能力の高い装置ですら光速度の差が観測出来ないのが事実なら、運動系で鏡に反射した光は同じ速度で反射することをまず認めなければなりません。



この現象が古典物理学の否定につながるとしたら、その根拠となった8-1式も間違っていることになります。古典物理学を基にしているはずだからです。8-1式が間違っているのなら検証には使えず、古典物理学の否定もできません。

このような矛盾が起こるのは、検証式に対する**位置づけが不明確**だからです。従来の検証式は、



「光は定常系を一定速度 c で伝わる」

という仮定に基づいたものです。現在でも未解明である光の性質を予想した多くのアイデアのうち、わずか1例を表した式です。

マイケルソンとモーレーの実験は、古典物理学の真偽を確かめるために行った実験ではなく、光の性質とエーテルの存在を検出するために実施したものです。

実験と式の相違は、たまたま光の性質に選んだ

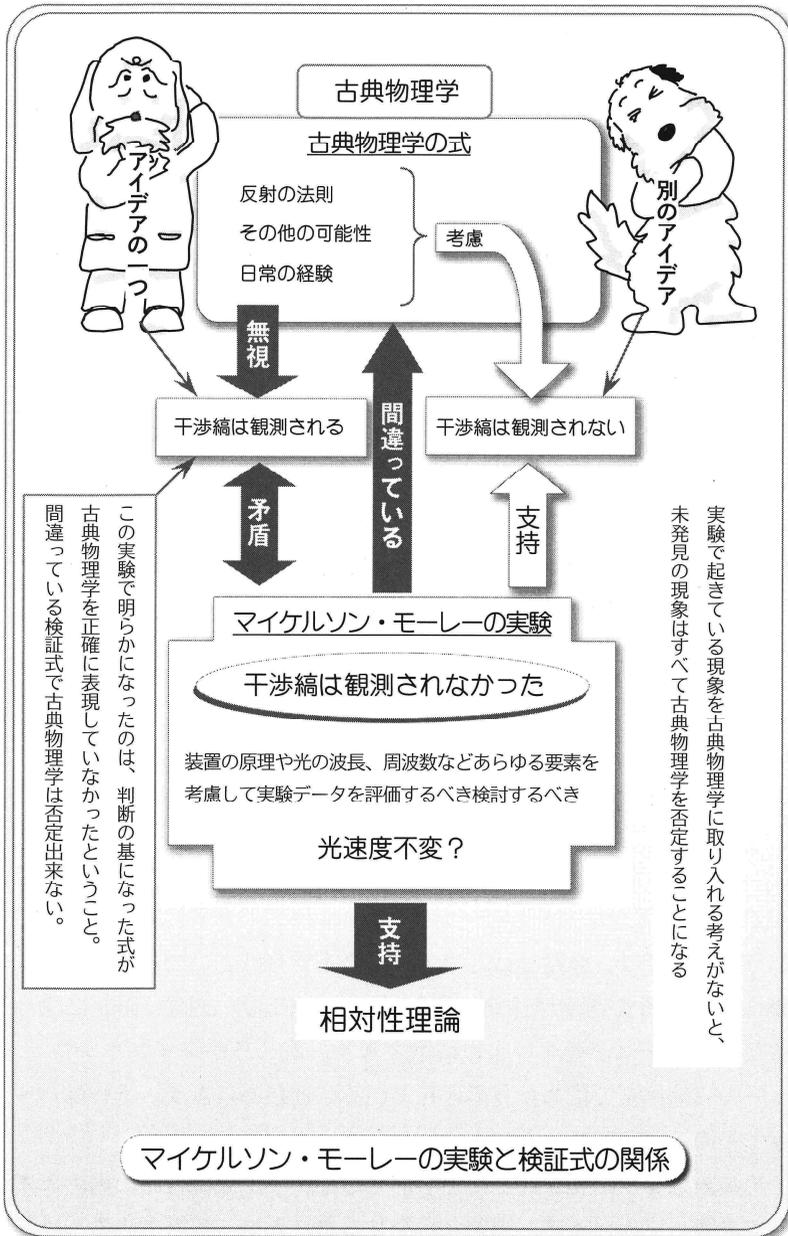


アイデアが間違っている可能性を示しているだけ

で、すぐさま古典物理学を否定する結論を出すのは実験の範囲を超えています。光の性質を見直し、古典物理学にその現象を取り入れた式を考えるという、次のステップへの参考材料として捉えるべきです。

マイケルソン・モーレーの実験で何が検出できて、それによって何を判断できるのかを見極めないまま検証式をたてると、実験では検出不可能なことまで、まるで証明されたように錯覚してしまう恐れがあります。

この種の実験は光速度を直接測定したのではなく、光の干渉を観測しようと試みた装置だということを踏まえて、これからも注意深く実験データを解析する必要があるでしょう。





古典物理学を取り入れる

鏡に反射した光が、反射の前後で同じ速度であることを事実として認め
るなら、経路Aの往路、復路共に光速度は $c - v$ となります。この考えは
古典物理学とも私たちの日常感覚とも矛盾しませんが、結果的に、光の運
動を完全弾性体のように捉うこととなります。

なぜ光がそのような振る舞いをするか（式が一致するか）、ここでは取り上
げません。実験事実を式に取り入れることがテーマですから、物理的な仮
説を証明と切り離すため、式の展開だけを進めてゆきます。

経路Aでの光速度を $c - v$ として、8-1式を書き換えると、

$$\begin{aligned}
 T_A &= \frac{L}{c - v} + \frac{L}{c - v} \\
 &= \frac{2L}{c - v} \qquad \dots\dots\dots 8-3 \text{式}
 \end{aligned}$$

となります。では、経路Bはどのように修正すればよいでしょうか。

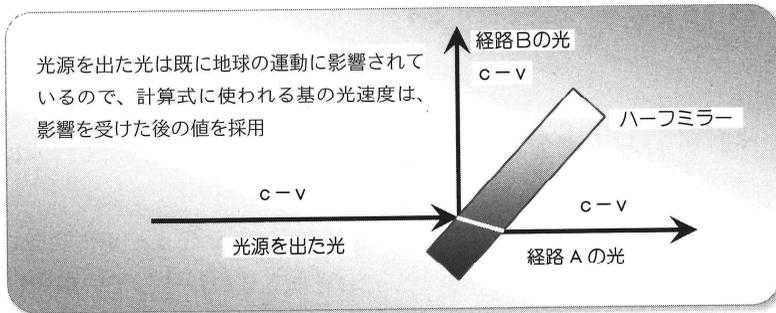
鏡に反射する光速度は往路、復路共に $L/\sqrt{c^2 - v^2}$ と同じ速度になっ
ているため、修正は必要ないように思えます。ところがマイケルソン・モ
ーレーの実験検証で誰もが見落としていることがあります。それはハーフ
ミラーでの反射です。

この装置は4本の腕を持った十字形をしていて、光源はその内の1本の
末端に設置してあります。光源から発せられた光は、装置中央のハーフミ
ラーで2分されるまでは1つの光とみなされます。

ハーフミラーを通過して経路Aへ直進している光は $c - v$ 、反射され進行方向を 90 度変えた光速度は $\sqrt{c^2 - v^2}$ となっています。これは光源から光が直進して経路Aへ向かった場合と、光が直進して経路Bへ向かった場合の値を寄せ集めたデータです。

装置の構造上、この2つが両立することは有り得ません。経路Aの光速度が $c - v$ なら、経路Bでは $c - v$ の光が斜めに走り、経路Bの光速度が $c^2 - v^2$ なら、 $c^2 - v^2$ の光が経路Aでガリレイ変換されます。

ハーフミラーに反射する前後の光速度は等しいということです。



そこで経路Bを光が走るのに要する時間 T_B を修正すると、

$$\begin{aligned}
 T_B &= \frac{L}{c - v} + \frac{L}{c - v} \\
 &= \frac{2L}{c - v} \qquad \dots\dots\dots 8 - 4 \text{ 式}
 \end{aligned}$$

と、8-3式と同じになります。このようにして、見落としていたものを探し出し修正するだけで、マイケルソン・モーレーの実験結果を古典物理学に取り入れることは十分可能です。



見落としを集約すると

マイケルソン・モーレーの実験式から相対論の式が導出できるというのは大変奇妙な偶然です。間違った実験式と数学トリックによって成立している理論が一致するなら、その式の間違いだけを取り出して相対論の関数と一致させることができるはずですが。

従来のマイケルソン・モーレーの実験式では復路の光速度は $c + v$ です。それを今回の修正で $c - v$ に変換しました。往路の光速度 $c - v$ はそのままです。

この変換が正しいという立場に立つと光速度 $c - v$ を $c + v$ へ変換しているので、従来の式は $c + v / c - v$ だけ正解とずれが生じています。(あるいは $+ 2v$)

経路A全体について従来の式で生じた誤差を算出する時、特に注意したいのは、往路も計算に入れているという点です。往路は間違っていないので復路についてのみ考えればよいと思いがちですが、この修正が復路の光速度に対して行われているのに対して、相対論では往復時間に対して求めてあります。

本来なら、変換関数は速度の異なっている往路と復路はそれぞれ独立させて定義するべきものですが、実験式では変換前のパラメータをそのまま足しています。(アインシュタインの論文と全く同じ間違いです。)

ここでもあえて復路の変化だけでなく、変化しない往路も計算に入れます。

$$\begin{aligned}
 \text{経路Aの修正係数平均値} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\text{距離の修正係数}}{\text{往路の速度修正係数}} + \frac{\text{距離の修正係数}}{\text{復路の速度修正係数}} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{\frac{c+v}{c-v}} \right) \\
 &= \frac{c}{c+v} \qquad \dots\dots\dots 8-5 \text{ 式}
 \end{aligned}$$

また、経路Bの光速 $c-v$ は $c^2 - v^2$ に変換したので、

$$\begin{aligned}
 \text{経路Bの修正係数} &= \frac{\text{距離の修正係数}}{\text{(速度の修正係数)}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\frac{c^2 - v^2}{c - v}}} \\
 &= \frac{c - v}{\sqrt{c^2 - v^2}} \qquad \dots\dots\dots 8-6 \text{ 式}
 \end{aligned}$$

マイケルソン・モーレーの実験式での見落とされていた係数は、経路Aで8-5式、経路Bで8-6式になります。これらが等しくなるように調整する新たな係数が最終的な修正係数となります。

修正関数をMとして、

$$\frac{c}{c+v} = M \frac{c-v}{\sqrt{c^2-v^2}}$$

$$M^2 = \frac{c^2}{c^2-v^2} = \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$M = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \dots\dots\dots 8-7 \text{式}$$

が得られます。

同じ式は相対論でも、マイケルソン・モーレーの実験からも導出されます。相対論の解説書の場合は光速度不変の原理を取り入れるため、ガリレイ変換を暗算で処理していたのが発生原因でした。

マイケルソン・モーレーの実験式から得た場合は、間違っているはずの古典物理学の式を基に、係数だけで修正しようとしたのが原因です。

それらは皆、式が正しいという前提で出されたものですが、8-7式は根本的に違います。マイケルソン・モーレーの実験式の中から、間違っている成分だけを取り出して集約しています。正しい理論とは無縁の誤った式です。

それが相対論の係数と完全に一致するのはなぜでしょうか。

経路Aと経路Bを一致させていた関数を、別の要因に求めただけなので、その差が一致するのは数学的には当たり前のことですが、実験装置や複数の要因が関係しているため、これを単純に逆算で求めるのは難しいでしょう。

逆算した例に、ローレンツ収縮と呼ばれる仮説などがありますが、否定されてしまったようです。要因を物体の収縮1つに絞ったためだと思います。

今回の修正は、数式上の修正です。この結果を受けて光の性質を決定することはできません。光の波長や周波数、屈折、その他を考慮して同じような式はいくらでも出来るでしょう。

マイケルソン・モーレーの実験のような貴重な実験データを相対論のようなトリック理論で無駄にしないように、あらゆる可能性を式に取り入れて検証することは、これからさらに重要になるのではないのでしょうか。