

2014年11月25日

sinotake

nobi 様

ようやくのことで、ご質問に対する回答をお届けできるようになりました。まずケーブル理論について少しお話をし、そのことをふまえた上で、#9と#10に対する回答を記述しようと思います。

1. ケーブル理論について

ケーブル理論についてインターネット上で調べても、わかりやすく説明したサイトがなかなか見つかりませんでした。しかたがないので、キーワードを「Cable theory」として検索してみましたら、

http://en.wikipedia.org/wiki/Cable_theory

というサイトが見つかり、とても分かりやすかったので紹介します(なぜ、日本人の研究者は、これくらいのわかりやすい説明ができないのでしょうか)。ただし、このサイトの内容はケーブル理論を神経繊維に適用するという立場で説明しているものですから、私としては不本意なのですが、わかりやすさという点で取り上げました。まずは、このサイト(以下、「[Cable theory のページ](#)」と表記します)をご覧ください。

(1) ここでの理論の一つ目の結論が(12)式です。この偏微分方程式の解が(14)式です。ただし、(14)式のすぐ上のところに説明がありますが、steady-state conditions という条件での解となっています。つまり、時間的に変化しない状態(定常状態)での解というわけです。そのため、(12)式において $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$ としたときの解になっています。

(2) また、(14)式の中の λ は(13)式で表されていて、「長さ定数」とよばれています。ケーブルの導線中の $x=0$ での電位を V_0 [V] としたとき、そこから $x = \lambda$ [m] だけ離れたところでの電位 V [V] は、(14)式で $x = \lambda$ とすることにより求めることができ、それが(17)式で表されています。この結果は、#10のご質問の中に示されているリンク先の「4. 活動電位の伝導」というpdfファイル(以下、「[#10のpdfファイル](#)」と表記します)のPage 5の下から2行目にも示されています。

(3) なお、(13)式に(1)式と(3)式を代入することにより、 $\lambda = \sqrt{\frac{aR_m}{2R_i}}$ が得られます。この式もまた、「[#10のpdfファイル](#)」のPage 5の下から3行目に示されています。ただし、ここでは、 R_i の代わりに R_l となっています。この λ の式は、#10のご質問に対する回答の中で、もう一度出てきます。

(4) ケーブル理論を神経繊維に適用できるかどうかを判断する上で重要なのが、(3)式です。この式の右辺の R_l [$\Omega \cdot \text{m}^2/\text{m}$] (= R_l [$\Omega \cdot \text{m}$]) は、「ケーブルの導線方向の単位長さあたり、かつ、単位断面積あたりの抵抗」を表しています。導線の抵抗は、その長さに比例し断面積に反比例しますから、 R_l を導線の断面積 πa^2 [m^2] で割った値は、導線の「単位長さあたりの抵抗」となります。これが左辺の r_l [Ω/m] です。

なお、(3)式では、抵抗が断面積に比例するなら断面積をかけますが、反比例なので断面積で割ることになります。同様に(1)式では、絶縁被膜の単位面積当たりの抵抗 R_m [$\Omega \cdot \text{m}^2$] を導線の円周 $2\pi a$ [m] で割ることにより、絶縁被膜の「導線方向の単位長さあたりの抵抗」 r_m [$\Omega \cdot \text{m}$] を求めています。少しややこしいですが、よく考えてみてください。

2. #9 のご質問に対する回答

#9 のご質問のリンク先サイトの「脳のなかのこびと軍団」の「3 伝導」のページ(以下、「[#9 のページ](#)」と表記します)の記述内容については、多くの点で納得のできないところがあります。一つひとつ指摘したいと思います。

(1) 「3.1 局所電流・局所電位」の項の2つ目の段落(「この興奮部位における」で始まる段落です)では、Figure12 が示され、軸索内を「局所電流」が流れると説明されています。この局所電流は、高校生物教科書の「活動電流」のことです。この段落の「問題部分」は、その中ほどから最後にかけてのところにあります。「このイオンの流れはどこまでも続くわけではない。…大部分のイオンは興奮部位から少しだけわきに移動して止まる。…興奮部位からその周囲へと、近いほど多く、遠いほど少ない量の正電荷が運ばれることになる。」と述べて、「Figure13 上」を示しています。この文章の中では「少しだけわきに移動して止まる」と述べておきながら、「Figure13 上」では、局所電流が少しずつ軸索の外に流れ出ている図が描かれています。何の説明もなく、軸索の外に流れ出ているとされているのです。

(2) そして、この段落の中で最も重大な「問題点」は、その次の、「その結果、興奮部位の近傍では、興奮部位との近さに応じて正の電位変化が生じる。この局所電流によって興奮部位周辺に生じる電位変化を局所電位と呼んでいる。」というところです。つまり、局所電流が流れることによって局所電位が生じるということです。この、「局所電流によって局所電位が生じる」という考えは、このあとの様々な疑問(間違い)のもととなっています。

私のレポートが主張するところは、軸索の中を電流が流れていないことです。陽イオン濃度の高い部分があれば、それだけでその周囲に電場と電位が生じます。このことは、静電場の理論が教えてくれるところです。電位が生じるために電流が流れる必要など、どこにもありません。

(3) また、「局所電位」の様子が「Figure13 下」に示されています。私は、この図を次のように理解しました。つまり、流れる電流が多いところ(興奮部位に近いところ)では電圧降下が大きく(つまりグラフの傾きが大きく)、電流が少ないところ(興奮部位から遠いところ)では電圧降下が小さく(グラフの傾きが小さく)なるように描かれている、と。この電圧降下の大小は、オームの法則から導かれることです。

しかし、このあとの説明を読むと、どうも著者の考えはそうではないようです。この著者は、流れる電流が多いところでは電位が高く、電流が少ないところでは電位が低くなると考えておられるようなのです。このような考え方は、オームの法則に完全に反しています。

私のレポートには、【物理の学習(D)】の電位の説明のところ、電位の分布は点電荷 Q からの距離 r に反比例する式が示されています。これも、静電場の理論が教えてくれるところです。電流など流れなくても、陽イオンが存在するだけでその周囲に電位の分布(反比例のグラフ)が生じます。

(4) 次に問題となるのは、「3.5 跳躍伝導」の後半部分、「先項で見たとおり」で始まる段落です。ここで、局所電位が興奮部位から離れるにつれて小さくなっていくことの原因として、「これは正電荷を運んでいる局所電流が、軸索内から徐々に軸索外へと流出するためである。」と述べられています。段落の冒頭で「先項のとおり」としておきながら、その先項のどこにも局所電流が軸索外に「流出する」とは述べられていません。先項では「少しだけわきに移動して止まる」と述べておきながら、ここではいつの間にか「流出する」となっています。流出する理由も述べられていません。上記(1)でも指摘したように、「Figure13 上」が、何の説明もなく局所電流が軸索外に流出する図になっていることと同じ文脈です。

また、この著者は、局所電位が小さくなっていくのは局所電流が徐々に軸索外へと流出するからだと言

べておられます。つまり、上記(3)で指摘したように、電流が少ないところでは電位が低くなると考えておられるようなのです。

- (5) それ以上に大きな「問題点」は、その次の、「髄鞘は高い絶縁性をもつため、髄鞘が巻きついている部分では局所電流はほとんど細胞外へと流出せず、したがって局所電流から生じる局所電位もより遠くまで大きな値を維持できることになる」というところですが、ここで、著者は「細胞内を流れる局所電流が多くなる」とは述べておられませんが、この文章の前後から判断すると、局所電流が細胞外へ流出しなければ細胞内を流れる局所電流はそれだけ多くなる、と理解せざるを得ません。つまり、この著者は、多くの電流が流れるほど高い電位が維持されると考えておられるようなのです。

ところで、軸索内を電流が流れれば、電流が流れるにつれて電位は下がっていきます。このことは、オームの法則が教えてくれるところです。軸索には抵抗 R があり、そこを電流 I が流れれば、 $V=IR$ で与えられる電圧だけ電位が低くなっていきます。つまり電圧降下が起きます。上記のように、細胞内を流れる局所電流 I の値が大きくなるのであれば、それだけ電圧降下は大きくなります。つまり、軸索内での電位の分布は、それだけ急に低くなっていくことになります。

もう一度、「Figure13 下」をご覧ください。上記(3)でも述べましたが、この図は、その上の図に示されているように、興奮部位の近くでは多くの電流が流れているために電圧降下が大きく、したがって電位の分布が急に低くなり(つまり、グラフの傾きが大きい)、興奮部位から遠ざかるにつれて流れる電流が少なくなるために電圧降下が小さくなって、電位の分布の低くなるのがゆるやかになっていく(つまり、グラフの傾きが小さい)ことを示しているのです。この図にも示されているように、流れる局所電流が多いのであれば、その部分の電位の分布は急に小さく(低く)なっていきます。

したがって、もし、「Figure13 上」に描かれているような局所電流が軸索の外に流れ出なくなれば(つまり髄鞘で覆われている場合には)、それらの局所電流はすべて軸索の中を流れることになり、興奮部位から遠ざかるにつれて電位は急に低くなっていくはずですが、このことは、上記のような、「髄鞘が巻きついている部分では局所電流はほとんど細胞外へと流出せず、局所電流から生じる局所電位もより遠くまで大きな値を維持できることになる」という著者の説明が成り立たないことを意味します。

なぜこのようなことになるのでしょうか。それは、「局所電流によって局所電位が生じる」という考え方で説明しようとするからです。上にも述べましたが、陽イオンが存在すればその周囲に電場ができ、陽イオンの濃度が高いところほど電位が高くなり、そこから遠ざかるにしたがって徐々に(距離に反比例して)電位が低くなっていきます。電場ができればそこには電位差が生じます。この電場の中(つまり電位差のある空間内)に存在する電荷が電場から力を受けて移動する、それが電流です。まず電位の分布(電場)があり、その電位の分布によって電流が流れるのです。この著者の考え方は、因果関係が逆転しています。

繰り返しますが、電流が流れるから高い電位が維持されるのではなく、電流が流れれば電位は低くなっていきます。それがオームの法則の教えるところです。

- (6) Figure18 の下の2つ目の段落(「跳躍伝導は、」で始まる段落です)に、「伝導では軸索の一部で膜が興奮するとこれによって局所電流が流れ、軸索上の近い部分に局所電位が生じるのだった。この電流の流れる速さは十分に速く、局所電位は一瞬で生じる。」とあります。

この著者は、「3.1 局所電流・局所電位」の項の2つ目の段落の中ほどに、「ちなみにここでいう電流とは、電気回路における電流のような電子の流れではなく、荷電したイオンが溶液内を移動することで生じる電荷の移動のことである。」と述べておられます。また、「コラム 2」の最後のところで、再び「もういちど繰り返して

おく。生体内において生じる電流とは、電子ではなく、イオンが移動することで起こる電荷の移動のことである。」とわざわざ太字にして強調しておられます。しかし、溶液中を移動するイオンの速さが極めて小さいことは、ほとんど常識です。上記のように「この電流の流れる速さは十分に速く」などということはありません。

電場や電位は、陽イオンが存在すれば空間内を一瞬に伝わります。電場や電位が伝わる(広がる)速さは、電場や磁場の中を伝わる波、つまり電磁波、すなわち光の伝わる速さです。ですから、「局所電位は一瞬で生じる。」は正しい表現です。しかし、この著者は、電位が生じるためには電流が流れなければならないという考え方をしておられますから、電位が一瞬にして生じるためには電流が一瞬にして流れなければならないと考えておられるのではないかと思います。だからこそ、「この電流の流れる速さは十分に速く」などと述べざるを得ないのです。

(7) Figure18 についても指摘しなければなりません。この図は、有髄神経繊維の場合の軸索内の電位の分布を表したものです。著者の考え方によれば、髄鞘部分では外部に電流が流れ出ないから多くの電流が流れることになり、高い電位が維持されているということになります。興奮部位(上の図の中央)の隣のランビエ絞輪ではたぶん電流が流れ出すと考えられていて(ここではまだ興奮が起こっていない)、急に電位が低くなっています。そして、そのランビエ絞輪より先では軸索内を流れる電流が少なくなっているため電位が低いということを表しているのだと思います。つまり、この著者は、徹底的に、「流れる電流が多いところでは電位が高く、少ないところでは電位が低い」と考えておられます。オームの法則が分かっておられないのです。

何度も言いますが、どこかに電位の高い部分があれば(たとえば陽イオン濃度の高い部分があれば)、それだけで(電流など流れなくても)その周囲に電位の分布は生じます。むしろ、多くの電流が流れればその部分の電圧降下が大きくなり、そこでの電位は急に低くなっていきます。それがオームの法則の教えるところです。Figure18 は、ありえない図です。

この著者は、間違いなくケーブル理論に基づいて説明しようとしています。しかし、その理論の結論だけをご自分の思い込みで都合のよいように解釈し、利用しておられるとしか考えられません。間違った解釈、間違った利用の仕方をされているからこそ、Figure18 のような図が描かれているのです。

3. #10のご質問に対する回答

(1) まず、「[#10のpdfファイル](#)」のPage 3の図4-6について考えたいと思います。このグラフでは、無髄線維の伝導速度は軸索の直径の平方根に比例することになっています。なぜこのようなことが言えるのでしょうか。その答えのヒントは、「1. ケーブル理論について」の(3)で説明しました $\lambda = \sqrt{\frac{aR_m}{2R_i}}$ に表されています。

「[Cable theoryのページ](#)」の(14)式を見てください。この式を神経繊維に適用する際には、電位の基準を静止膜電位、つまり静止状態の軸索内の電位(通常は、細胞外を基準として-70[mV]程度とされている電位のことです)にとると理解しやすくなります。静止膜電位を基準にすると、興奮部位の膜電位の最大値(つまり、活動電位の最大値のことです。これを V_0 で表すことにします)は $V_0=100$ [mV]程度、静止状態の膜電位は 0 [mV]、そして電位依存性 Na^+ チャネルが開くための閾値の電位(軸索外を基準とすると-50 [mV]程度とされている電位のことです。これを V_T で表すことにします)は $V_T=20$ [mV]程度となります。

ところで、私は、ケーブル理論そのものを否定しているわけではありません。ケーブル理論は絶縁被膜で覆われた導線に対する理論で、これは正しい理論だろうと思っています(ただし、難しいので十分に理解できません)。問題は、この理論を神経繊維に対して適用するところにあると考えています。そこで、今後は、ケーブル理論を神経繊維に適用した場合の考え方を「神経繊維=ケーブル理論」と表記することにし、本来

のケーブル理論と区別したいと思います。

(2) 神経繊維=ケーブル理論では、ある興奮部に興奮が生じると、軸索内には(14)式で表されるような指数関数的に減少する電位(このような電位は「電気緊張性電位(electrotonic potential の和訳)」とよばれることがあります)の分布が「一瞬にして」生じることになります。このとき、膜電位が閾値の電位 V_T 以上のところまでの(複数の)電位依存性 Na^+ チャンネルが開くことになり、ある興奮部での興奮はその位置まで「一瞬にして」伝えられることになります。その位置までの距離は、(14)式の V_x を V_T とすることにより x の値として求めることができます(代入したのち、両辺の自然対数をとれば、 $x = \lambda \times \ln \frac{V_0}{V_T}$ が得られると思います。lnはeを底

とする自然対数です)。この値を x_T と表すことにします。ちなみに、 $V_0=100$ [mV]、 $V_T=20$ [mV]とすると、 $x_T \approx 1.61 \lambda$ [m]になると思います。すなわち、神経繊維=ケーブル理論では、ある興奮部での興奮は x_T の距離を「一瞬にして」伝えられることになります。

$x=x_T$ の距離のところは、興奮が伝えられる「最も先端(最前線)」の位置です。この「最も先端」の位置にある電位依存性 Na^+ チャンネルが開いて興奮を起こすには、イオンチャンネルのタンパク質が変形し Na^+ が軸索内に流入するために、いくらかの時間が必要です。この時間を t_D と表すことにします。この時間 t_D の後、そこからさらに x_T の距離だけ先の電位依存性 Na^+ チャンネルまで再び「一瞬にして」興奮が伝えられ、ここでもまた t_D の時間をかけて Na^+ チャンネルが開きます。これを繰り返しながら興奮が伝えられるというのが神経繊維=ケーブル理論の示すところですが、つまり、興奮は、時間 t_D ごとに距離 x_T ずつ伝えられていくことになります。

したがって、興奮の伝導速度 v は、 $v = \frac{x_T}{t_D}$ となって λ に比例することになり、さらに、 $\lambda = \sqrt{\frac{aR_m}{2R_i}}$ より、 v は \sqrt{a} に比例することになるというのです。私は、以上のように理解しています。

(3) しかし、それにしても、軸索の中を $x=x_T$ の距離まで「一瞬にして」興奮が伝えられるという考え方、つまり電気緊張性電位の分布によって説明することを、私はどうしても受け入れることができません。私の考え方は、軸索の中を電位の高い状態がパルス波として(一瞬ではなく、ある有限の速さで)伝わっていくというものです。なお、このパルス波の強さは、波が伝わっていくにしたがって次第に減衰していきませんが、神経繊維=ケーブル理論における電位分布の減衰と、私の主張するパルス波の強さの減衰とは、まったく異なるものです。前者は、軸索内でのある瞬間の空間的な電位分布の減衰(指数関数的な減衰)であり、後者は、時間的な経過の中でのパルス波の強さの減衰です。

(4) 次に、図4-6の有髄線維のグラフについてですが、なぜこのようなグラフになるのかは私にはわかりません。このグラフによれば、有髄線維の軸索の直径がおおよそ 0.6 [μm]以下では、興奮が伝えられないことになります。また、軸索の直径が 0.6 [μm]より細い有髄線維は存在しないのでしょうか。さらにまた、このページの4行目に「この点はちょうど無髄線維の直径の上限に相当し」とありますが、ということは無髄線維の直径は最大 0.6 [μm]ということなのでしょう。それより太い無髄線維はないのでしょうか。ついでに言うと、このページの3行目に「有髄線維のそれは直径に比例する」とありますが、有髄線維のグラフは原点を通っていないのですから「比例する」とは言えません。いうまでもなく、比例するのは原点を通る直線の場合です。

仮に、このグラフの横軸が軸索の直径ではなくて、髄鞘をも含めた神経繊維全体の直径だとすればどうでしょうか。そうすると、有髄線維のグラフの横軸が 0.6 [μm]の場合は、その軸索の太さが 0 で、 0.6 [μm]は髄鞘の太さだけを表していると考えられます。もしも、横軸を軸索の直径のままにするのなら、有髄線維のグラフを左に平行移動して原点を通る直線にすればよいことになります。そうすれば、上記のような疑問はすべて解消します。

ただ、その場合でも、有髄線維ではなぜこのような直線になるのかはわかりません。どこかに、有髄線維の場合の神経繊維=ケーブル理論があって、そこからこのグラフが出てくるのではないかと思っています。あるいはまた、実験の測定データがもとになっているのかもしれない。

結局のところ、ご質問にあるような、軸索の直径が $1\mu\text{m}$ 以下の神経繊維の伝導速度が「無髄神経>有髄神経」となる理由は、まったくわかりません。

- (5) この pdf ファイルには、「膜電位の生物物理」という付録があります。その Page 5 の上半分に書かれている式の3行目と4行目の

$$y=V-iR, \tau=CR \text{ とおくと}$$

$$dy/dt=-y/\tau$$

の部分については、説明が必要です。 $y=V-iR$ の両辺を t で微分すると

$$dy/dt=dV/dt-Rdi/dt$$

となり、これに、2行目の式の dV/dt を代入すると、

$$dy/dt=-(V-iR)/CR-Rdi/dt=-y/\tau-Rdi/dt$$

となります。本当ならこれが4行目の式になるはずですが。

ところが、この微分方程式を解く際には、「[Cable theory のページ](#)」の場合と同様に、 $di/dt=0$ とすることで処理されています。つまり、電流の強さが変化しない「定常状態」で処理されています。しかし、そのあとの説明を読めば分かるように、電流は変化するものとして考えられていますから、ここでの処理はおかしいのです。

- (6) この pdf ファイルの Page 5 の下の部分にも3行にわたって式が記述されていますが、十分な説明がないまま式が示されていて、この部分を見ただけでは何のことも理解できないものとなっています。先に紹介した「[Cable theory のページ](#)」の説明がいかにかかりやすいかを実感されることでしょう。

この「[#10 の pdf ファイル](#)」の著者は、十分な説明や根拠を示すことなくいきなり結論や数式を示しています。ご本人にはわかっているのかもしれませんが、読む人にわかるようにしないことには、pdf ファイルを公開する意味がないでしょうね。

4. ケーブル理論を神経繊維に適用できない理由

すでに述べましたように、私はケーブル理論そのものは正しいのだらうと思っていますが、これを神経繊維に適用することが間違いだと思っています。ほとんどの研究者が、適用できるかどうかの吟味をしていないように思えます。ここでは、私がなぜケーブル理論を神経繊維に適用できないと考えているのか、その理由を述べたいと思います。

- (1) 何と言っても最大の理由は、神経繊維の中を電流など流れていないということです。神経繊維の中を興奮が伝えられるのは、軸索内に生じた陽イオン濃度の高い状態がパルス波となって伝播するからです。これに対して、ケーブルの中では実際に直流または交流が流れています。
- (2) 仮に、神経繊維の中を電流が流れるとしても、活動電流(局所電流)は軸索の中の一部のイオンが流れる「細かいイオンの流れ」です。これに対して、ケーブルの中では導線の断面全体を電子が流れます。つまり、「ところてん方式」で流れます。導線の断面全体を電子が流れることで成り立っているのが、ケーブル理論の

$r_l = \frac{R_l}{\pi a^2}$ という式です。これは、導線方向の抵抗がその断面積に反比例するという式です。導線の断面積が2倍になれば導線中を流れる電子の数が2倍になり、したがって抵抗が1/2になるという意味です。しかし、軸索の中ではその断面を満たすようなイオンの流れは生じませんから、軸索の断面積が2倍になってもイオンの流れは2倍になりません。

(3) ケーブルの導線内を電流が流れるときの導線内の電位分布は、ケーブル理論により指数関数的にゆるやかに下がっていく曲線で表されます。これに対して、神経繊維では、軸索の一部が興奮したときその軸索内に流れ込んだ Na^+ は極めて狭い範囲に集中していて、ほとんど点電荷のような状態です。このとき、点電荷がその周囲に作る電位は、点電荷からの距離に反比例する式で表されます(静電気学がそう教えています)。つまり、点電荷の周囲の電位の分布はせまい範囲に集中したパルス状の形になります。きわめて短い時間の間に軸索内に Na^+ が流れ込むことにより、狭い範囲に集中した Na^+ が高い電位を生み出すのです。興奮部から少し離れれば、ほとんど静止電位の状態です。

(4) 次のサイトには、髄鞘や軸索の抵抗の具体的な値が示されています。

<http://itcl.jp/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/repo0601-7.pdf>

これによれば、軸索内の溶液の抵抗として軸索の長さ方向に1mm あたり $3.5 \times 10^6 \sim 3.5 \times 10^7 [\Omega]$ 、軸索を貫く抵抗(つまり髄鞘の抵抗)として軸索の長さ方向に1mm あたり $2.9 \times 10^8 [\Omega]$ という値が示されています(この pdf ファイルでは1m あたりの値が示されていますが、ここでは1mm あたりに直しています)。驚くことに、これらの値は $[\text{M}\Omega]$ のオーダーです。これでは、髄鞘だけでなく軸索もまた絶縁体になってしまいます。本当にこのような値なのか心配なのですが、はっきりしていることは、髄鞘も軸索もともにその抵抗値がとても大きいということです。髄鞘の抵抗が大きいのは当然としても、軸索の抵抗もめちゃくちゃ大きいのです。

これに対して、多くのケーブルの導線部分の素材は銅でしょうから、その抵抗は極めて小さい値です。銅でできたケーブルなら電流が流れるのは当然としても、神経繊維の場合に、これほど大きい抵抗をもつ軸索内を本当に電流が流れると考えておられるのでしょうか。

これほどまでに条件が違うのですから、私には、ケーブル理論を神経繊維に適用できるとはとても思えないのです。

5. 最後にひとこと

今回、私は nobi 様のために長文の回答を作成しました。そのために多くの時間と労力を費やしたことは事実です。しかし、だからと言って、nobi 様が気にしておられるような「仕事、趣味、その他貴重な時間を奪われている」などという思いは、まったくありません。迷惑どころか、このような問題を考える機会を与えられたことをありがたく思い、とても喜んでいきます。この1週間、すべきことや楽しむべき趣味は十分にでき、人生を存分に満喫しています。先週の土日には、信州へリンゴ狩りに行ってきました(私は、リンゴの木のオーナーになっています)。また、先日には、「国宝 鳥獣戯画展」を観に行ってきました。

この回答は、決して nobi 様のためだけに作成したものではありません。私自身の考えをまとめ、整理するためでもあるのです。「跳躍伝導についての本当のお話」のレポートの次回の改定版の中に反映させたいと思っています。このレポートを一層充実したものにするこそが、私の願いであり趣味なのです。nobi 様はそのお手伝いをしてくださいました。感謝し、お礼申し上げます。ありがとうございました。