

- 16S2052:** 運動方程式から (2.1) を導出するとのことでしたが右辺はできましたが、左辺は  $1/\Delta x$  をどのような考え方で偏微分形にするのかわかりません。 M: そうですか、しかし質問が記載されていません。// 講義でも言ったが、物理学の基礎を復習すればいいのでは? // 講義では厳密な導出を示したわけではなく、導出の雰囲気を示しただけなのでイメージですが、微少量を無限小に持っていき、ただし多変数なので偏微分を持ちいている。
- 17S2022:** トンネル現象のような古典物理学では語れない現象には、他にどのようなものがありますか? M: 本気か? 教科書 1 章にもいくつか記載があるし、参考書やその他の本も色々と読めばいいのでは?
- 18S2003:** 授業で解いたように、線形偏微分方程式は任意定数を使った解が多いと思いますが、任意定数を使わない解があるとしたら何か特別な特徴があったり、予め制限を設けたりしているのでしょうか? M: それが境界条件なのだが.....
- 18S2010:** 量子は波と粒子の二つの性質があるが、それは現実の波動性に影響するか M: 意味不明。“現実の波動性”とは、何のことか?
- 18S2014:** 波動方程式が横波ではなく縦波ならば、線密度の変化を変位としてとら得ればよいですか。 M: 自分で判断できないのはなぜか? 自分で考えて分からないのはなぜか? // 縦波は粗密波だから.....
- 18S2018:** 線形以外の波動関数が出た時関数をどう設定したら良いのでしょうか。 M: 微分方程式について、自分で勉強すればいいのでは?
- 19S2004:** 境界条件で二箇所固定されていないと解が求められないということは、弦の途中で固定されている場合はその間の波についてしか求められないのでしょうか? M: 勘違いの予感。// 二ヶ所固定が必須とは、どこに書いてあったのか? 自由端の振動を考えることはできないのだろうか?
- 19S2005:** 波動方程式を変数分離法で解くことができない場合とはどのような場合で、その時はどんな方法で解くのですか。 M: 19S2026 参照
- 19S2011:** 特殊解が線形独立でない場合、一般解は求めることができるのでしょうか M: 20S2012 参照
- 19S2017:** 不確定性原理は電子が 2 つ以上ある場合は更に複雑な式となるか、それとも不確定性原理は成り立たないのかどちらですか? M: 自分で考えてみればイイのでは? どこかの誰かが述べた結果を暗記すればいいなどと思っているから、こんな質問をひねり出すのでしょうか? // 一つ一つ順番に考えてみればいいのでは?
- 19S2022:** 未知数と未知関数を同時に求める方程式は存在するのでしょうか。 M: 自分で考えればいいのでは?
- 19S2026:** 波動方程式は多くの場合、変数分離で解けるとありましたが、他にはどのような解き方があるのでしょうか。 M: 微分方程式について、勉強すれば分かるのでは?
- 19S2045:** 古典的波動関数はこれから先、どのような技術に応用されていくと先生は考えますか。 M: 自分で考えればいいのでは? // 身の回りには (古典的) 波動現象はいくらでもあるでしょうし。
- 19S2051:** 特殊解が線形独立かどうかは一般解を求めるときに何か支障はありますか? M: 20S2012 参照
- 20S2001:** 特殊解が非線形の場合は、一般解を求めることは出来ないのでしょうか? M: 意味不明。“解が非線形”とは、どういうことか?
- 20S2002:** 今回の講義では弦の振動のとき両端を固定していたが光の振動のときに同じように両端を固定することは可能なのか。 M: 20S2036 参照
- 20S2003:** 陽子間にも反発はあるのになぜ原子核には陽子が密集しているのですか? また、陽子が密集できるなら電子も密集できるのですか? M: 素粒子物理学を勉強すれば分かるのでは?
- 20S2006:** 教科書 44 ページに「一般に~ならない。」とあるが、特殊な場合があるのですか? M: 日本語力不足か? // 必ずそうしなければならないというわけじゃないだけでしょ。偏微分方程式の使い道が、一通りに限定されるわけじゃないでしょ。
- 20S2007:** 古典的波動方程式において、無意味な解以外の解は分離定数  $K$  は必ず負になるということか? M: 自分で判断できないのはなぜか?

- 20S2011:** 今回は両端が固定されている弦の波動方程式について考えましたが、両端と中央を固定した場合でも同じようにして解くことが可能なのか。 **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ 自分で解いてみればいいのでは？ // 境界条件とは何か？
- 20S2012:** 特殊解が線形独立でない場合、一般解は求められないのでしょうか。 **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？ 微分方程式の解き方を勉強すればいいのでは？ // 線形独立な特殊解を求めればよい。
- 20S2018:** 弦の振動以外に光波や音波に対しても両端を固定し、波動方程式を解くことが出来ますか。 **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // 物理学の基礎を復習する必要があるのでは？ そもそも方程式は何のためにあるのか？ (古典的) 波動方程式の対象は？
- 20S2021:** 偏微分方程式の方法と行列の方法は数学的に等価であると証明されたがどのようなものであれば等価なのですか **M:** 21S2033 参照
- 20S2024:** 教科書や講義を受けて感じたのですが、量子論だけではない物理学全体において方程式を求めることが最も重要視されていることなののでしょうか **M:** (+) まあ、物理的現象を客観的に正確に記述しあるいは予想するのに、数式というコトバを使うのが最も適切だということはあるだろう。
- 20S2026:** 波動方程式は一次元では弦、二次元では波と考えられますが、三次元ではなにをイメージして考えたら良いのか。また三次元は存在するのか。 **M:** 本気か？ 一次元でも二次元でも三次元でも、波は波なのだが、次元数は波の何を表わしているか？ // 教科書 p.54 の“波動方程式 (2.1) を二次元に一般化”したのを参考にすれば、好きな次元に一般化できるのでは？
- 20S2030:** 変数が増えるごとに境界条件も増えるのですか？ **M:** どの変数のことか？ // 数学の基礎、理工系の数学などを復習する必要があるのでは？
- 20S2031:** 古典的波動方程式とシュレディンガー方程式の関係性は何で示されるのか。 **M:** 意味不明。“何で示されるのか”とは、何を期待している質問か？ // 論理あるいは直感などで示されるとか (?)
- 20S2033:** 1次元の波動方程式があるなら2次元の波動方程式もあるのですか、また、振動なのにも関わらず1次元で式を展開できるのはなぜでしょう **M:** 前半について、自分で判断できないのはなぜか？ 20S2026 参照 // 後半について、勘違いの予感。“振動なのに”とは、何を意図しているのか？
- 20S2035:** 式 (2・8) と (2・9) で弦は振動するかしらないかの2通りであるのに対して  $K$  が正か負か零の3通りであるのは何故か？ **M:** 本気か？ //  $K$  による場合分けのどこが理解できないのか？  $K$  によって何の場合分けしているのか？
- 20S2036:** 弦は両端を固定できるが、光の振動も、両端を固定することは可能なのか。 **M:** 光は電場と磁場の振動が伝搬していくものだが、例えば反射面において電場がゼロになるか (波の節) あるいは非ゼロで振動するか (波の腹) が、それぞれ固定端反射と自由端反射に対応すると考えられる。光が伝搬する媒質が別の媒質と接している界面で反射や透過が起こることがある。誘電体から誘電体へ、誘電体から導体へ、等々。電磁気学を勉強すれば分かるのでは？
- 20S2037:** ラプラス方程式など、一部の偏微分方程式を変数分離法を用いて解いて良い理由がわからないのですがどうしてですか。 **M:** 本気か？ 逆に、変数分離法を用いて解いてはいけない理由は何か？ // 得られた解が、解きたかった偏微分方程式の解になっているかどうかは、比較的容易に確認できる。得られた解が方程式を満足しているのに、何が不満なのか？ // あなたは何をしたいのか？
- 20S2039:** 古典的波動方程式は、より高次元にも応用できますか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ 20S2026 参照
- 20S2040:** 授業で教科書ではほとんど波動方程式で考えて一部行列代数を利用して量子論を考えていると述べられておりましたが先生がその二つの手法使い分ける際何か条件や基準などありますか。 **M:** 別に。 21S2045 参照
- 20S2041:** 教科書 p.45 の式 2.4 から式 2.5 への変形で、 $x = 0$  の時  $X = 0$  になるがこの変形はしても良いのだろうか。実際に計算して成り立つのはわかりましたが理由はなぜなのか。 **M:** “ $x = 0$  のとき  $X = 0$  になる”との主張の根拠は何か？
- 20S2042:** 古典的波動方程式において右辺で  $1/v^2$  をかけていますが、どのような過程で  $1/v^2$  が出てくるので

しょうか。また、なぜ  $1/v^2$  をかける必要があるのでしょうか。 **M:** 波動方程式の導出過程について、参考書をよく読んで、物理学の基礎を復習すればいいのでは？

**20S2043:** 特殊解となると、波はどのような状態になっているのだろうか？ **M:** 本気か？ // 解の関数で表される状態になっている。(それ以外の何だと思っているのか?)

**20S2046:** (2.1) 式はどうやって求められたのですか。 **M:** 16S2052 のコメント参照

**20S2047:** 古典的波動方程式の振幅  $u(x,t)$  は教科書中の式 (2.1) と一定の物理的条件を満足する必要があるということから減の両端が固定されていることがわかる、とありますが、片方が固定されていないとき (片方の弦を手でもって、上下に揺らして波形を生み出す等) は古典的波動方程式は適用できないのですか。

**M:** 微妙に勘違いの予感。“弦の両端が固定されていることがわかる” 理由は、そんなことじゃない。たとえ満足する必要があったとしても固定端である必要性はなく、他のものがあったでもいいわけだし..... // 人の手で弦の端を持って揺らすことは、人の恣意的な行為であるので、自然現象とは言い難いような..... :-p

**20S2052:** 古典的波動方程式での弦の端での電子の状態は動いていないということですか。それとも端には存在していないということですか。 **M:** 正気か？ // 古典的な弦の振動で、どうして電子の話になるのか謎。// それとも、弦を構成している物質の原子に含まれている電子の話か？ 原子の中の電子は静止している??

**21S2001:** 古典的波動方程式は変数分離法を用いて解ける場合が多いとありますが、解けない問題はどのようなものがありますか？ **M:** 19S2026 参照

**21S2002:** 量子論を定式化する際に、行列代数を使う方式と変微分方程式を使う方式は数学的に等価であると書かれているが、どうすれば等価となるのか/ **M:** 21S2033 参照

**21S2003:** 弦の運動で  $x$  と  $u$  の 2 方向出てくるのに二次元ではなく一次元の波動方程式で記述できるのは何故ですか？ **M:** 20S2026 参照

**21S2004:** 一次元波動方程式についてです。弦の長さが無限大になると、境界条件は両端からの影響は無視できるのではないかと考えたのですが合っていますでしょうか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？

**21S2005:** 今日の講義で黒板に書いていた弦の振動する図について、線密度が与えられている弦が、振動した時に 4 次関数のような形になる瞬間はあるのでしょうか。 **M:** しかるべき境界条件の下で振動すれば、そうなることもあるのでは？

**21S2006:** 波動という複雑な現象が偏微分の式というシンプルな方式で表されるのはなぜですか？ **M:** 美しい、自然の神秘ですネ。

**21S2007:** ファインマンの経路積分はどのような原理から導出されたのか。また、量子論において、どのようなときに経路積分を使うのか。 **M:** 勉強すれば分かるのでは？

**21S2009:** 光の振動であっても弦の振動のように両端を固定することは可能ですか。 **M:** 20S2036 参照

**21S2010:** 微分方程式を解く際の境界条件について、教科書には「物理的知見から明白になるような」というような記載がありました。それについて、もし物体の運動等があまりにも複雑になって行った時に、境界条件を定めることが難しいという理由で微分方程式を解けない、となることはあるのでしょうか。それともそのようなことにはならないのでしょうか。 **M:** 誰がどう境界条件を定めるのでしょうか？ 観測によって定められるものなのだろうか？

**21S2012:** あらゆる物質を構成するものは素粒子であり、素粒子は質量を持たない点であるとあります。質量がない点が集まってできたもの (地球など) になぜ重力があるのですか？ **M:** “素粒子は質量を持たない点である” と主張する人に聞けばいいのでは？ // ヒッグス粒子の話か？

**21S2013:** 古典的波動方程式が変数分離法で解けないときどのような方法を使うのですか **M:** 19S2026 参照

**21S2014:** 変数分離法の最初に未知の関数を変数毎の因子に因数分解できると仮定していますが、その仮定が正しかったことはどのように確かめるのですか？ **M:** (+) 変数分離法で出てくる“仮定”は、別途正しさが検証されたり後に誤りだったとわかったりするような“作業仮説”という意味ではない。 $u(x,t) = X(x)T(t)$  とおいた (2.3) 式以降の計算の正しさは、(2.3) 式が正しいという前提の下でのみ成り立つ論理である。しかしこの (2.3) 式が正しいという命題はこの段階では証明できない (根拠は無い) ので (そもそも  $u(x,t)$  が未知なので)、正しいことを前提として以降の議論を進めなければどうしようもない。

したがって (2.3) 式を仮定したと言うよりない. もちろん (2.3) 式を仮定しなければ, それ以降に示されたような計算はできないので, それは“変数分離法”ではない. // “仮定”のコトバに必要以上にこだわって, そもそも何をやろうとしていたかを見失ってしまっている人が多いのだ. ここでは私たちは (2.1) の波動方程式を解きたかったのであり, 未知関数  $u(x, t)$  を求めたかったのである. そのとき  $u(x, t)$  が  $x$  と  $t$  の変数によって変数分離されてはイケナイなどという規則は全くないし, 逆にどんな形であれ (2.1) の微分方程式の解になっていれば文句はないはずだ. 因数分解によって未知関数を求めることができるならば, それでよいではないか.

**21S2015:** 光子は質量を持たないが、粒子性を持つのに質量が無いのはなぜなのですか。光が質量の無い波としての性質も持つからなのですか。 **M:** “粒子性=質量” という意味ではない.  $E = nh\nu$  というエネルギーの“塊”という局在性が、波の非局在性と対峙している.

**21S2017:** 講義の一次元波動方程式の条件を満たす解 (一般解/特殊解) はダランベールの式に一致しますか？ **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？ // 解が式に一致するとは？

**21S2018:** 教科書を見た時に、2-2 の波動方程式の解き方が講義と違ったのですが、先にそれぞれの辺を 2 階微分してから解くやり方のメリットはなんですか **M:** 逆に、デメリットは何か？ 特定の解き方のみが許容されて、他の解き方をしてはいけない理由があるのか？ // てゆーか、どこが違うのでしょうか？ 勘違いでは??

**21S2020:** 特殊解の時と一般解の時では波の状態はどのようにちがうのですか **M:** 本気か？ 任意定数とは何か、どういう意味か？ その値は？ // 特殊解と一般解の違いについて講義で説明したのに、全く伝わってなくて残念.

**21S2021:** 日常で起こる物理現象を記述した微分方程式はどのようにして導いているのですか **M:** 正気か？ 普通に論理的に考えて導いているでしょ. // “神の啓示”, “ノストラダムスの予言” などのはずはない.

**21S2022:** 今回の講義では計算の基礎的な部分だったので、前期の数学の復習をしておこうと思います。境界条件の中には明示されない時が多いと講義中におっしゃっていましたが両端が 0 になる以外で何か例を教えてください。 **M:** そうですね、しかし質問が記載されていません. // 教科書や参考書をよく読めば分かるのでは.

**21S2023:** 微分方程式の解が特殊解になった時、波はどのようになるのですか。 **M:** 20S2043 参照

**21S2024:** シュレディンガー方程式、波動方程式の解からわかることはそれぞれなんですか。 **M:** 波についてのこと全て. // 教科書 p.126 や参考書をよく読めば分かるのでは？

**21S2028:** 自由端と固定端によって境界条件を使い分ける必要があるのでしょうか。また正弦波で振動させた時は境界条件はどうなるのでしょうか。 **M:** 自由端と固定端で、境界条件が同じと言えるか、自分で考えて分からないのはなぜか？ // 正弦波の境界条件を設定すればいいだけでは？

**21S2029:** 特殊解のとき波はどのようになりますか。 **M:** 20S2043 参照

**21S2030:** シュレディンガー方程式など量子論から定式化された粒子の状態を表す方法がたくさんあるが、ファインマンの経路積分はどのような原理から導出されたのか？ **M:** 問題にしている状態は、あらゆる状態の重ね合わせで作られる.

**21S2031:** 古典波動方程式の中で変数分離法が使えないものは何ですか。 **M:** 私は知りません. 調べて分かったら、教えてくださいネ

**21S2032:** シュレディンガーといえば猫を思い浮かべるのですが、量子力学は確率的で不完全という内容だったと思いますが、量子力学は電子の場所などを確率的に表し、完成されていると聞きました。不完全だが完成とはどういうことなのでしょうか。 **M:** 誤解の予感. うろ覚えではなく、ちゃんと確認すればいいのでは？

**21S2033:** 波動方程式と行列代数はなぜ等価だと言えるのか、また経路積分は等価ではないのか？ **M:** 勉強すれば分かるのでは？

**21S2034:** 微分積分を使えばビックバンが起こる前の宇宙のことを知ることはできますか？ **M:** 勉強すれば分かるのでは？

- 21S2036:** 三次元以上の波動方程式は存在するのでしょうか。また、存在するのであれば波動方程式は何次元まで表せるのでしょうか。 **M:** 20S2026 参照
- 21S2037:** ハイゼンベルクの不確定性原理について、教科書では  $\Delta x \Delta p \geq h$  と記されていますが、参考書やネットの記事には  $\Delta x \Delta p \geq h/4\pi$  と記されているものもありました。ネットの記事は信憑性に欠けると思いますが、どちらが適しているのですか？ **M:** オーダー (桁) としてはあまり変わらないのでは？ // 複数の本を見比べてみれば、不確定性関係の議論の詳細によって数倍程度の違いが生じることもあるようです。結果の数式を暗記するのではなく、論理を理解するように。
- 21S2038:** p.46 の物理学的な意味での無意味な解は詳しく説明するとなるとどういう解でしょうか？ **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？ //  $u(x, t) = 0$  の左辺の意味、右辺の意味を考えればいいのでは？
- 21S2039:** 質量と加速度と張力の  $X$  に垂直な成分から古典的波動方程式を求める過程で、授業で飛ばした部分を求めようとしてしました。その過程で  $F(x \text{ に垂直な張力})/S = \partial u / \partial t$  となったのですが、合っていますか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // 物理学の基礎を復習すればいいのでは？
- 21S2040:** 古典的波動方程式の導出の際に、式 (2・4) において積の微分の形であることを用いて式を整理したと思います。しかし、左辺の  $T(t)$  と右辺の  $X(x)$  は変数ではありますが微分される関数ではないのでそのまま括り出してはダメなのでしょうか。 **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // こうしなければいけないという唯一の方法しかないわけじゃなく、数学の計算規則に反しない限り、別手順・別解があってもいいのでは？
- 21S2041:** 物体の熱エネルギーが熱平衡の過程で均一に広がっていく様子を波動と見立てて波動方程式で表すことはできますか？ **M:** 熱は高温部から低温部へ伝わっていくが、その過程で何らかの振動をしているわけではない。物理学を勉強して自分で考えたりすればいいのでは？ // 熱伝導方程式
- 21S2043:** 境界条件を必要とする方程式とそうでない方程式の違いは何ですか。 **M:** あなたは、その方程式を解いて、何を知りたいのか？ // 18S2003 参照
- 21S2044:** 実測値を基に量子論は定式化されたのですか **M:** 本気か？ // そもそも物理理論とは何のためにあり、何のために作られたのか？
- 21S2045:** 波動方程式と行列代数は場合によって使いやすい方を使うとの事でしたが、どちらがいいか見分ける指標などがありますか？ **M:** 別に、好きにすればいいのでは？
- 21S2047:** 古典的波動方程式は振動といった様々な波動現象を説明する式であるが、その古典的波動方程式を電子といった素粒子に当てはめてみても、解が出るのだろうか。それともハイゼンベルクの不確定性原理より解は出ないのか。 **M:** 勉強すれば分かるのでは？
- 21S2048:** ディラック方程式によってシュレーディンガー方程式とハイゼンベルクの行列が数学的に等価であるということを証明したが、なぜその証明に必要な概念にディラックの海という真空状態の概念を持ってきたのか。 **M:** 勘違いの予感。証明するのにディラック方程式を使ったわけではないのだが.....
- 21S2049:** (2・1) の波動方程式は運動方程式以外のアプローチで導出できますか **M:** 私は知りません。調べて分かったら、教えてくださいネ
- 21S2050:** シュレーディンガー方程式を解いて波動関数を求めるというのは偏微分方程式を解くことと等しいのでしょうか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // 勉強すれば分かるのでは？
- 21S2051:** ディラックが行列代数と偏微分方程式が等価であることを示したとあるが、なぜ後者の偏微分方程式が中心に使われるようになったのか。 **M:** 教科書 p.43 の、その記述に続く説明をよく読めば分かるのでは？
- 21S2052:** 教科書では、古典的波動方程式は変数分離法で解ける場合が多いとありますが、他の方法としてはどのようなものがあるのでしょうか。 **M:** 19S2026 参照