

- 16S2052:** p.46 に境界条件を考える際、 $T(t)$ がすべての t について 0 にはならないとあるが、 $T(0) \neq 0$ であり、 $T(t)=0$ となる場合 $X(x)$ がどんな値を取ろうとも $u(x,t)=0$ で無意味な解になってしまうからですか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // もしも $T(t)$ が全ての t について 0 になるのなら、それはどういう振動か？ それは今あなたが考えている振動か？ // もしも $T(0) \neq 0$ であり $T(t)=0$ となる場合、一体全体 $T(t)$ はどういう関数か？
- 18S2003:** 適切な値を置くことで式を導けるのであれば、境界条件は 0 以外の定数などでもいいのでしょうか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // 講義で説明した例では、なぜ境界条件が 0 だったのか？ 0 以外の定数の境界条件は、どんな物理的な意味があるか？
- 18S2010:** 現実の電子は物理的な両端がないのに波が無限に広がっていかないのは何故か **M:** 本気か？ // 現実の電子の波が無限に広がっていかないと、どこの誰が言ったのか？
- 18S2014:** 線形結合をすると、一般解になるのはなぜですか。 **M:** 微分方程式について勉強すれば分かるのでは？ // 任意定数の数や関数空間などが関係していると思われ.....
- 18S2018:** 今回 $\sin$ の方は余り適してないから使われませんでした、逆に $\sin$ が適している状況はどんな時ですか。 **M:** 勉強すれば分かるのでは？
- 19S2003:** 今日の講義で「2 回微分して元通りになる関数」を挙げるとき、確かに「具体的に」と聞いはていましたが、黒板に既に「三角関数」と書いてしまっていたため $\cos x$ が出なかった・出せなかったと思うのですが、どうですか。 **M:** あなたが思うのはあなたの勝手ですが、出なかった・出せなかった人が何を考えていたのか私は知りません。 // 指数関数については e^x , e^{ax} , e^{-ix} と類似したもの（本質的に同じもの）が複数出ていました。確かに“指数関数”の四文字は黒板に書いていませんでしたが、こちらについては次々と出てきたにもかかわらず、 $\sin$ とは異なる文字・異なる関数である $\cos$ は出てきていません。通常 $\sin$ と $\cos$ はペアで出てくることが多いのに、今回は片方しか挙げられていないことにも違和感がなかったのでしょうか？
- 19S2004:** K **M:** 意味不明
- 19S2005:** 2 つの特殊解が一次独立であるかを確認するためにロンスキー行列式を用いたが、この場面でこの式を使う根拠は何ですか。 **M:** 数学の基礎を復習する必要があるのでは？ // 二つのモノが一次独立であるとは、どういうことか？ 数式で表すと？
- 19S2011:** 静止している弦の場合にはつまらない解が得られましたが、振動している場合ではつまらない解が得られることはあるのでしょうか？ **M:** 勉強すれば分かるのでは？
- 19S2022:** 変数分離法以外の方法で波動方程式を解くことは不可能なのでしょうか。 **M:** 微分方程式の解き方について勉強すれば分かるのでは？ // 解き方がわかっているのに、あえてそれとは違う解き方を必要とするのはなぜか？
- 19S2026:** $u(x,t) = 0$ は無意味な解とありましたが、これは、波が存在しないという意味を持っていると考えられると思い、無意味では無いと思ったのですがどうでしょうか。 **M:** “無意味な・つまらない解”は $u(x,t) = 0$ という解の単なる名称・呼称なので、“無意味な・つまらない”の言葉にこだわっても意味がないと言ったのだが、伝わっていないようで、残念。 // どんな解であっても、それなりの意味をこじつけることは可能なので、文字通りの無意味な解など存在しない。
- 19S2045:** 弦の振動は波を扱う分野で使われていると思いますが、それ以外でどのような分野で使われているのか。 **M:** 自分で考えたり探したりすればいいのでは？
- 20S2001:** 今回は両端が固定されていましたが、両端が固定されていないときはどのように解けば良いのでしょうか？ **M:** 解き方は同じだが (?) // 同じ方程式が状況に応じて異なる解き方をされるとは、論理的にオカシイのでは？ // では今回の状況とは何がどう異なるのか？
- 20S2002:** 特殊解が線形独立でない場合、一般解を求めることは可能なのか。 **M:** 本気か？ 自分で判断できないのはなぜか？ // 講義で示したのに、伝わっていないようで残念。
- 20S2003:** ハイゼンベルクは行列を用いて量子論を定式化したとありますが、定式化する方法は永年行列式を

解くことですか？ **M:** “定式化する方法”とは、何のつもりか？

20S2006: 式 15 で、定数 k を用いるとなぜ二乗になるのですか？ **M:** 本気か？ 式の次の行の説明 “ k は実数の定数” の、どこがわからないのか？

20S2007: 変数分離法の使用例を教えてください **M:** 本気か？ 教科書 p.44 以降や参考書をよく読めばいいのでは？

20S2010: 講義中の微分方程式で、 $K = 0$ 、 $K \neq 0$ の場合で無意味な解しか得られなからといって、 $K < 0$ の場合に意味のある解があると決めることはできるのですか。 **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？

20S2011: 2次元、3次元と多次元になってもこのように変数分離をすることで波動方程式を導き出せるのか。 **M:** 意味不明. この質問で言う “波動方程式” とは、どの式のことか？

20S2016: 自然界の物理現象について記述した微分方程式はどのように導出しているのですか？ **M:** 本気か？ 物理学の基礎を復習する必要があるのでは？ 注目する物理量間の関係式でしょ？ // ニュートンの運動方程式やシュレーディンガー方程式のように、天下りの的に与えられるものもある。

20S2018: シュレーディンガー方程式は両端が固定されていなかったり、途中で抑えられている弦など、実際に存在しない場合に対しても用いることができるのでしょうか。 **M:** 意味不明. 勘違いの予感. // 今やっているのは、(電子の) シュレーディンガー方程式ではなくて、古典的波動方程式なのだが.....

20S2021: 単純な三角関数で波の進行を表せないのは正と負の重ね合わせであるためだが、複素数の指数関数 $e^{i\theta}$ を用いて表せるのはオイラーの式によって $\sin$ 波と $\cos$ 波の重ね合わせであるためですか **M:** 質問の意味が分かりにくい. // そもそも “単純な三角関数で波の進行を表せない” のであれば、三角関数を重ね合わせればいいのでは？ フーリエと唱えてみるテスト. // オイラーの式は単純な重ね合わせではない. 実数軸の $\cos$ と虚数軸の $\sin$ なので.

20S2024: 今回の講義で行った変数分離法では両端を固定された弦の変位を表す未知関数を変数毎の因子に因数分解できると仮定することが大事だと思うのですが、そもそもなぜそう仮定することができるのですか？ **M:** できるできないの話じゃないと講義でも説明したのだが、理解されていないようで残念. // そう仮定しなければ、その先の計算が成り立たない. 仮定しないで解くのなら、それは変数分離法じゃない. // ここでは変数分離型の解を求めている. (他の形の解があるかどうかなど、知らない.) 求めようとしていた方程式の解が求まったのに、何が不満なのか？

20S2026: 波動関数を掛け合わせることで規格化条件が 1 となる。ということですが、なぜある波動関数にその複素共役を掛けることで「存在確率」だと定義できるのでしょうか？ **M:** いろいろと誤解のデパートな予感. // “波動関数を掛け合わせることで規格化条件が 1 となる。” は、間違いというか、規格化条件というものを理解していない. “なぜ～「存在確率」だと定義できるのか?” については、定義の意味を理解していない.

20S2028: 二つの解が一次独立でないということは、ベクトル的に考えると平行線になるという状態であることから、任意的に決められる関数の解に対してそもそも一次独立であることの確認をする必要があるのか。一次独立でない解もつまらない無意味な解として処理していいのではないか **M:** 質問の主旨が不明. 一次独立であることを確認しなくていい理由が、あなたの論理ではさっぱりわからない. // “つまらない解・無意味な解” については、単なる名前・呼称なので、この言葉の意味にこだわる必要はないと講義で説明したのに、理解されていなくて残念.

20S2029: 波動方程式の解は進行波と後退波の重ね合わせですか **M:** 自分で考えて分らないのはなぜか？ // 進行波とは何か？ 後退波とは何か？

20S2030: 古典的波動方程式は変数分離法以外にどのような解き方があるのですか？ **M:** 19S2022 参照

20S2031: 物理的に意味がわからないが、時間に依存しない古典的波動方程式を解くことは可能なのか。また、とけた場合、その解は物理的な意味を持つのか。 **M:** 本気か？ 講義で説明している $X(x)$ を、何のことだと思っているのか？

20S2035: シュレーディンガー方程式を応用することで地震の p 波や s 波の軌道を求めることは可能なのか？

M: 正気か? そもそもシュレーディンガー方程式は、何についての式なのか?

20S2036: 高校物理での波に関する式は $A \sin \omega (t-x/v)$ という非常に簡単な式で表すのに対し、同じように波を表す波動方程式は複雑になってしまうのか。 **M:** 本気か? // それぞれ、波の *何* を表す式なのか?

20S2038: 特殊解が線型独立ではないとき、一般解を求めることは出来ないのですか。 **M:** 20S2002 参照

20S2039: 演算子が可換かどうか計算しなくても分かるような法則性がありますか? **M:** 勉強すれば分かるのでは?

20S2040: 講義中に変位について定数分離法で解く際、 $X(x)$ について $\sin \alpha x$ とおいて始め解いていましたが変数の中に i が出てきた段階で途中で計算を止めて違う方法に変えていましたが計算が煩雑であること以外に $\sin \alpha x$ のまま解くことの難点は存在しますか。また、 $\sin$ や $\cos$ を使用して求める場合と自然対数を用いて求める場合とを比較してどちらが良いかは用いる場面によって変わってくると考えられますがそれぞれ具体的なその場面の例など存在すれば教えてください。 **M:** $\sin(ikx)$ すなわち引数に純虚数をとる正弦関数・三角関数とは、どういう意味か? // 計算が煩雑とかいうレベルの話か?

20S2041: 弦の場合以外の波動方程式、例えば光波で両端を固定することはできるのか。その場合どんな条件か。 **M:** 20211109 の 20S2036 参照

20S2042: $u(x,t)$ において、両端で固定されているため振幅が 0 になるという境界条件を用いてますが、この考えは現実の粒子でも適用されるのでしょうか。 **M:** 本気か? 自分で判断できないのはなぜか? 境界条件はだれがどう設定するのか? // ちなみに今回取り扱っている波動方程式は、古典的波動なので、この波動方程式は粒子には適用されない。// 粒子の波動方程式 (?) があったとして、そういう境界条件のもとに運動する粒子であれば適用されるし、そうじゃなければ適用されない。

20S2043: 教科書に、”古典的波動方程式は変数分離法で解ける場合が多い”と記載されているのだが、解けない場合とはどのようなものであるのか? **M:** 物理学の基礎 (波動) を勉強すれば分かるのでは?

20S2046: $X(x)$ が $\sin(ik)$ の値で計算しても難しいだけで同じ結果が得られるのでしょうか。 **M:** 20S2040 参照

20S2052: 光の振動について考えるとき、端を固定して考えることはできますか **M:** 本気か? 自分で判断できないのはなぜか? // あなたが考えたければ、考えればいいのでは? // 20211109 の 20S2036 参照

21S2001: 境界条件には初期条件も含まれるものなのですか? **M:** 講義でも説明したのだが、伝わっていないくて残念。// 境界 と 初期 の言葉の違いにこだわる意味あるのか? 変数が x のときと t のときで、何が違うか?

21S2002: 無意味な解における波の状態は静止以外にも存在するのでしょうか//特殊解が一次独立でないとき、一般解はどのようにして求めればいいのでしょうか **M:** 前半について、自分で考えて分からないのはなぜか? $u(x,t)=0$ の物理的意味が、そんなに難しいのか? // 後半について、一次独立でない場合には一般解が作れるかどうか、自分で考えて分からないのはなぜか? // 二階の微分方程式の一般解を得るためには、一次独立な特殊解が二つ必要。何とかして二つ目を見つける。定数変化法とか

21S2003: ロンスキー行列式で一次独立か調べられるのはなぜですか? // 変数分離法は偏微分方程式でも使えますか? **M:** 19S2005 参照 // 本気か? 講義で説明しているのは 偏微分方程式 なのだが.....?

21S2004: どのような時に変数分離法を使うと良いのですか? **M:** 本気か // 変数を分離するとき

21S2005: 分離定数の場合分けはどうしてする必要があるのですか? **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか? // 得られる一般解が全く違う

21S2007: 分離定数は、複素数まで範囲をとると、虚数も場合分けに含まれると思うのですが、虚数は存在しない数だから、実数の範囲で考えて、正・負・零で場合分けをしたのですか。 **M:** 本気か? // “虚数は存在しない数”とは、どういうことか? 存在しない数が教科書でたくさん使われているのだが、どういうことか?

21S2008: 今回の変数分離法による計算において、特殊解が一次独立であるか確かめる理由は? **M:** 本気か? // 二つの特殊解が一次独立でないとうなるか、講義で説明したのに、理解されていないようで残念。

21S2009: 長さ L の弦の波動を考えると、境界条件として任意の点 $a=0$ **M:** 意味不明

21S2010: 今日の講義で行った一連の数式の計算についてです。変数分離や、正の値を表すための k^2 への置換

など、仮定等の置き方が秀逸で、それを実行しようと考えた人達は本当にすごいなと感じました。そしてそのような思考力や判断力を養うために私に今できることはなんなのだろうかと考えました。私にご教授頂いている先生の立場から、なにかアドバイスなどを頂けないでしょうか。 **M:** 質問が記載されていません。// 暗記ではなく理解を、他人から答えを教わる・どこに書いてあるか探すのではなく自分の頭で考えることを、学生さんには普段から要求していますが.....? それらをアドバイスだとは認識されないのですね?

21S2012: 粒子の性質も示す光子に、なぜ摩擦が生じないのですか。 **M:** 摩擦とは、ミクロに見て、どういう現象か?

21S2013: 特殊解が一次独立であるかどうか確かめるときロンスキー行列式以外でも調べることができるのでしょうか **M:** 19S2005 参照

21S2014: 今日の内容は結構理解できました。強いて質問すると、この最終的に導かれた関数はグラフ上に表すことはできるのでしょうか? どのようなのでしょうか。 **M:** 本気か? 自分で考えて分からないのはなぜか? // 自分でグラフに描いてみればいいのでは?

21S2015: 電子の位置と運動量が同時に正確に求められない理由として、観測に使う光のエネルギーが影響しているとあったが、もし光が電子に与えるエネルギーが分かれば、電子の正確な位置と運動量はわかりますか。 **M:** 自分で考えてみればいいのでは?

21S2018: ネットで調べた時に、境界条件は場合によって変わると書いてあったのですが、実際に問題を解く時は教科書に書いている境界条件ではない条件を使うこともありますか? **M:** 本気か? // 今回ナゼ $X(0) = 0, X(l) = 0$ という境界条件なのか? これは恒等的に (どのような状況にある弦でも) 成り立つのか?

21S2019: 変数分離は化学の実験においてどのように使われるのですか。 **M:** 正気か? // 偏微分方程式の解法と化学実験との間にどんな関係があると考えているのか?

21S2020: 振動する弦が均一でない場合でも今回の波動方程式は成り立ちますか **M:** 意味不明. “振動する弦が均一” とは、どういう意味か? 何がどう均一だというのか?? // 20211109 の 20S2042 参照

21S2023: 電磁波のように、端を固定されていない波の場合は境界条件はどのようなになるのですか。 **M:** 本気か? 本当に電磁波は端が固定されていないのか? // 20S2052 参照, 20211109 の 20S2036 参照

21S2024: 波動方程式において変数分離法で表せない領域はありますか。 **M:** 意味不明. “領域” って、どういうこと? // 正気なのか? 方程式で表現された科学の法則を何だと思っているのだろうか? 数学的に正しく得られた変数分離型の解が成り立たないことがあるとはどういうつもりか?

21S2026: 2.1 の式について、振動する弦の運動が一次元の波動方程式で記述できると書かれていますが、弦に張力などがある場合はどのような式なるのでしょうか、またその方程式には解があるのでしょうか **M:** 本気か? 自分で考えて分からないのはなぜか? // 振動している現に張力が働いていないとでも思っているのか? // 波動方程式の成り立ちについて、弦の微小部分についての運動方程式を立てて (線密度と張力を考え) と言う話を講義で説明したのに、全く伝わっていないようで残念.

21S2028: 時間 t に対して、 t が 0 より小さい場合を考える必要はあるのでしょうか。 **M:** 本気か? 自分で判断できないのはなぜか? // 物理法則 (力学) は時間反転 (逆行) しても成り立つか?

21S2029: 定数 K で正、負、0 の 3 つの場合分けをしたが、弦は振動するか振動しないかの 2 つの場合しかないのでは、2 つの場合分けになるのではないのですか。 **M:** 本気か? 20211109 の 20S2035 参照

21S2030: 特殊解が線型独立ではない場合、一般解を求めることはできますか? **M:** 20S2002 参照

21S2031: 自由端の紐が振動する場合、固定端の弦のように境界条件を決めることができないと思うのですが、波動方程式を用いてどのように解けますか。 **M:** 境界条件を決めることができないとはどういうことか? // 自由端の振動は、波動方程式や波動方程式の一般解としては表現できないということか? もしそうなら、波動方程式に対するそのような制限は、一体どこから生じるのか?

21S2032: 授業に出てきた解で $X(x)=0$ と $u(x,t)=0$ は無意味な解とおっしゃっていましたが、ピンと張った状態で静止しているということは意味があるのではないのでしょうか。 **M:** 19S2026 参照

21S2033: 今回扱った微分方程式では、3 つに場合分けしたとき無意味な解が得られましたが、他の微分方程式

を解いたときも無意味な解は「必ず」得られるのでしょうか？ **M:** 全ての微分方程式を解いたわけではないので、私は知りません。// 調べて分かったら、教えてくださいネ

21S2034: 今回の授業で $\sin$ 、 $\cos$ の 2 回微分でてきたものがややこしいものだったが、そこで出てきたものは特殊解になるのか、無意味な解なのか、それともそもそも解ではないのか。 **M:** 本気か？ 自分で考えて分からないのはなぜか？ // “特殊解” や “無意味な解” とは、どういうものか？ 20S2040 参照

21S2036: $u(x,t)=X(x)T(t)$ の形で表すことができない解については考える必要がないのでしょうか。 **M:** 考えたければ自分で考えてみればいいのでは？ // 20S2024 参照

21S2037: 無意味な解から $X(x)=0$ が存在することはわかるんですが、(2.5) において $u(x,t)=0$ になり得るにも関わらず、両辺を $u(x,t)=X(x)T(t)$ で割っても問題はないんですか？それとも、 $X(x)=0$ は解としては存在せずに、 $u(x,t) \neq 0$ という条件のもとで (2.5) が成り立っているのですか？ **M:** 割る段階では $u(x,t) \neq 0$ でなければならないが、解きかかった波動方程式では $u(x,t) = 0$ を禁止していない。変数分離法を理解するためには、等式の両辺に変数が分離した形の (2.5) 式を明示するとわかりやすいが、普通の四則演算をしているだけなので、割る前の (2.4) 式も本質は変数分離されていると考えられる。

21S2038: ロンスキー行列式を調べることでなぜあの 2 つの特殊解は一次独立だと確かめることができるのでしょうか？ **M:** 19S2005 参照

21S2039: ロンスキー行列式の値が 0 以外の時 1 次独立となるのはなぜですか？ **M:** 19S2005 参照

21S2040: P47 の上から 2 つ目の式において、二つの定数 c_1 と c_2 をもつことと、2 回積分したときに常に 2 個の積分定数が出てくることの関係性がハッキリと理解できません。教科書では言い換えているように感じますが、どういうことなのでしょう。 **M:** “2 回積分したときに常に 2 個の積分定数が出てくる” ことは理解できているのでしょうか？ // 線形同次な微分方程式なので、解にゼロ次の項 (定数項) が存在しないのは明らか。(もしも定数項が存在するなら、解について重ね合わせの原理が成り立たない) すると積分定数は e^{ax+b} の b の様に入れるしかない(?)

21S2041: 波動方程式を立てるときに弦の線密度以外に空気中や水中の抵抗を考えないのはなぜですか。弦の置かれている環境によって運動は変化するように感じます。 **M:** 考えたければ考えればいいのでは？ // 最も基本的な波動方程式として、理想的な状況 (弦だけが存在していて周囲の影響は全くない) を考えるのは、そんなにオカシイ事なのか？ 水の抵抗を考えたとして、それは弦の微小部分の運動方程式にどのような力として導入されるだろうか？

21S2042: 分離定数 $k = 0$ と仮定した時の古典的波動方程式の解のような物理的な意味を持たない解は捨てる教科書にありましたが 0 以外で無意味な解と扱われる計算結果はありますか？ **M:** 19S2026 参照

21S2043: $X(x)$ の値が $\sin(ik)$ と求められ、授業内で取り扱ってはいませんでした。 $\sin(ik)$ という解は無視してもよいのですか。 **M:** 20S2040 参照

21S2044: ロンスキー行列が 0 以外ならば一次独立であるとありましたが、例外はないのでしょうか **M:** 19S2005 参照

21S2045: 古典的波動方程式が変数分離法で解けないのはどのような場合ですか？ **M:** 20S2043 参照

21S2046: 物理的な境界条件は、数学的な方程式の解法にどのような影響を与えますか。 **M:** 本気か？ 自分で考えて分からないのはなぜか？ // 境界条件はどの場面で使用されるか？ それは数学的な解法に関係しているか？

21S2047: $k \neq 0$ で場合分けした時に解が $\sin(ik)$ (k は実数) となったが、これは複素平面で考えなければならないのか。 **M:** 本気か？ 自分で考えて分からないのはなぜか？ // 複素平面とはどういうものか？ $\sin(ik)$ の実部と虚部は、それぞれ何か？ 20S2040 参照

21S2048: 数学的には無意味な解をだすのは必要であるが、物理的には無意味な解をだす必要はあるのか。 **M:** 本気か？ 自分で考えて分からないのはなぜか？ // 求める前にその解が無意味であると知る方法はあるのか？

21S2049: オイラーの公式を用いると $\cos(ik)$ も定義できると思うのですが、これも波を表しているのでしょうか。 **M:** 本気か？ 自分で判断できないのはなぜか？ // どのように定義できるのか？ “定義” の意味を理

解しているのか？

21S2050: $u(x,t)=X(x)T(t)$ のときに $t(t)$ が 0 にならないのはなぜですか **M:** 本気か？ 自分で考えて分からないのはなぜか？ // $T(t)=0$ は、どういう意味か？ あなたは何をやりたいのか？ あなたが扱っている系は、どういう系か？

21S2051: 無意味な解と意味のある解が分かれているのは何故ですか？ **M:** 意味不明 “分かれている” とは何のことか？

21S2052: 2つの境界条件を用いて x だけを含む式から分離定数 K を場合分けして求めることが今回の講義内容でしたが、初めに t だけを含む式から K を求めることは可能なのでしょうか。境界条件を上手く用いることが出来なかったので私は解くことができませんでした。 **M:** 上手くなくても普通に境界条件を用いればいいのでは？ // 両末端における変位は、時間経過とともにどのように変化するか？