

● 赤外線よりも波長の大きい（長い）光などを用いた場合など、ボルン・オッペンハイマー近似ができないようなケースも出てくるのですか。

→ 結論からいうと Yes です。

ボルン・オッペンハイマー近似は、光と物質が相互作用する時間が非常に短いので、励起された電子は状態を変えるけれど、原子核はほとんど動かないという近似でした。

その根拠として、授業では $300 \text{ nm} (= 3 \times 10^{-7} \text{ m})$ の光について考えました。1 波長分の長さ (300 nm) がある原子や分子の位置を通りすぎるのに掛かる時間を、光と物質の相互作用の正味の最低時間として仮定します。これは、電場の揺れ一回が、光の一波長に相当するからです。光は真空中を $3 \times 10^8 \text{ m}$ で進行します。真空以外の媒質中では若干遅くなりますが、オーダーレベルでは無視できるものと考えます。すると、この相互作用の時間は、 $3 \times 10^{-7}(\text{m}) / (3 \times 10^8 (\text{m/s})) = 1 \times 10^{-15} (\text{s})$ と求まります（以上、授業で説明済み）。

別の説明の仕方をするると、原子核は電子に対して非常に重い（電子 1 個の質量は、陽子の約 $1/2000$ ）ため、電子が動いている間に原子核はほとんど動かないと近似してよいということになります。前者の説明では、波長に依存しますが、後者の説明では波長に依存しません。

さて、質問者氏の意図に沿って考えていきましょう。波長が長くなると、それに比例して光と物質の相互作用にかかる時間が長くなります。極端に長い波長の電磁波を考えます。たとえば、nmr 測定で用いる（核スピンの向きの変化を励起するような）電磁波は、典型的にはたとえば 300 MHz です。これは、 1 m の波長をもつ電波です。この場合、光と物質の相互作用にかかる時間は、 $1 \times 10^{-8} (\text{s})$ となります。

この時間内に原子核が移動できるかを考えるためには、たとえば、室温における気体分子の飛行速度を考えてみる事ができるでしょう。室温におけるヘリウム分子の飛行速度は、マックスウェルボルツマン分布によって決まり、室温でおおよそ 1000 m/s です。すなわち、 $1 \times 10^{-8} (\text{s})$ 間に $1 \times 10^{-5} \text{ m}$ の距離を移動することが可能です。原子の大きさを 1×10^{-10} (1 \AA) 程度と考えた場合、これよりずっと長い距離と言えそうです（はじめの 300 nm の波長の光を考えたときの時間、 $1 \times 10^{-15} (\text{s})$ 間には、 $1 \times 10^{-12} \text{ m}$ の距離しか移動できません。これは原子のサイズにくらべても十分に短いと言えます）。

赤外吸収（典型的には、 $400 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ 程度の範囲ですが）のうち、 3300 cm^{-1} の波数の電磁波の波長は、 $(3.3 \times 10^5 \text{ m}^{-1})$ なので、その逆数を取って） $3 \times 10^{-6} \text{ m} = 3 \mu\text{m}$ ということになります。この場合は、 $1 \times 10^{-14} (\text{s})$ です。 330 cm^{-1} （波長 $30 \mu\text{m}$ ）まで波長を長くすると、相互作用にかかる時間は $1 \times 10^{-13} (\text{s})$ 程度です。これらの波長の電磁波が原子や分子と相互作用する時間とは、 1000 m/s で飛行する気体分子の飛行距離にして $0.1 \sim 1 \text{ \AA}$ 程度と算出されますから、原子のサイズに匹敵する距離を移動可能だということが分かります。

実際問題として、機器分析でも学んでいるように、IR では、電子遷移ではなく原子核の振動状態間の遷移が生じました。IR のみならず、UV-vis における電子遷移に伴うものも含めて、振動準位間の遷移において、原子核の位置の波動関数 χ の重なりが大きさが遷移確率に寄与しました。つまり、遷移の前後で原子核が吹き飛ばされて全く異なる位置に移動することはできませんが、振動順位が変化しているという意味では、遷移により原子核の運動状態が変わっているわけです。

ボルン・オッペンハイマー近似では、原子の位置の動きと電子の動きとを、互いに独立なものとして扱い、具体的には、分子の全波動関数を原子核の振動の波動関数と電子の波動関数（位置エネルギー項として、固定された核の位置をパラメータとして含む）の積として表し、このように近似することで計算しやすくするものです。しかし、いつも厳密に成り立っているわけではありません。原子核の振動によって電子の波動関数の混合が生じる場合もあり、これを振電相互作用と呼びます。このような振電相互作用があると、すなわち、2 つの電子状態がある振動モードを介して振電相互作用をしている場合、その振動モードの振動数は、高エネルギー側の電子状態では押し上げられ、低エネルギー側の電子状態では押し下げられるという形で検出が可能になります。参照先：光合成辞典 <http://photosyn.jp/pwiki/> 「振電相互作用」

● 1光子(過程)を2光子(過程)にしたり、2光子を1光子にできたりすると、どんないいことがあるのか。

→ 1光子過程ではエネルギーが不十分で進行しないような過程も、2光子過程では到達可能となる場合があります。また、たとえば800 nmの光子2つを非線形材料によって400 nmの光子に変換できれば、光子のもつエネルギーが2倍になります。

500円玉2枚で1000円札1枚になるのと同じ感覚なのですが、光子を対象として考える場合、通常はインシュタインの光当量則が成り立ちますから、1光子過程しか生じません。つまり1000円の買い物をしようとしても、1000円札1枚(1光子過程)でならOKだけれど、500玉2枚(2光子過程)では相手にしてもらえないというような状況なのです。

● 授業の最初の方で話してくださった、電場と磁場の軸の話がいまいち理解できなかった気がするので、もう一度教えてほしいです。

● 光の波を表すときに、 x, y 軸とは別に4次元目のカソード(?仮想の?)軸を取るところでわからなくなってしまった。

● 円運動をしていて進んでいるというのは、らせん状に進んでいるみたいなイメージなのですか。

→ 縦波、たとえば音波について考えてみましょう。縦波は媒質の振動方向が波の振動方向と一致しているもので、いわゆる粗密波と呼ばれるものです。下図は、一定間隔の x ごとに $x + k \times \sin(x)$ (k は適当な係数)の位置に縦線を書き込み、 $\sin(x)$ の曲線を合わせて表示したものです。



この粗密波は、等間隔の定位置に並んだ媒質が、波の進行方向に $k \times \sin(x)$ の変位を持つことによって生じています。すなわち、サイン曲線が正のところでは等間隔の定位置よりも右側に、サイン曲線が負のところでは等間隔の定位置より左側に縦線が描かれています。

この図では波の進行方向(たとえば右向き)に対し、定位置にどどまった媒質が同じ方向(左右)に揺れているのに対し、イメージしやすいように、波の進行方向と直交した(紙面の縦方向、すなわち進行方向を x 軸としたときに y 軸の)方向に仮想の軸をとり、波の振幅(定位置からの媒質のずれ)の大きさを表したものがサイン曲線です。つまり、ここで波を表しているサイン曲線の振幅方向の軸は、波の進行方向と直交しているようにとっているだけであり、空間をあらわす x, y, z 軸や実際の媒質の動きとは無関係です。

同じことを電磁波についても考えるわけです。電磁波の進行方向と直交した軸を2つ取ります。電磁波が z 軸方向に進行する場合には、 x 軸と y 軸を用いてもよいでしょう。この x 軸方向に電場の振幅を、 y 軸方向に磁場の振幅をとるとすると、電磁波の電場と磁場の交互の振幅は、 x, y 平面内で円運動をしているように見えます。進行方向に対して、 x, y 平面(電場の振幅と磁場の振幅の大きさを投影している平面)内の円運動が重なり、らせん状に進んでいるというイメージを与えました。しかし、今、電場、磁場の振動を3次元に表現するためにもちいた x, y 軸は、空間の広がりを表しているわけではありません。つまり実際に何か実体のあるものが空間内をらせん状に動いているというイメージは持たない方が賢明でしょう。

● シュレディンガー方程式を使うことで、どんなことが求められますか。

● シュレディンガー方程式の波動関数は何を意味するのか。

● 電子軌道とシュレディンガー方程式の関係がよくわかりませんでした。シュレディンガー方程式の何によって電子軌道が決まるのか。

→ 波動関数の二乗がつくる形が原子軌道や分子軌道です。

● 運動エネルギーを求める理由

→ 全エネルギーが位置エネルギーと運動エネルギーの和で求められるからです。

● 波動方程式によってエネルギーがわかるということでしたが、そのエネルギーの大きさから得られる情報はありますか。

→ 波動方程式を満たす関数(つまり原子軌道や分子軌道)と、それに対応したエネルギーが決まるわけです。分子軌道のエネルギーから、ある電子配置の分子の総エネルギーを知ることができますね。

● 調べればわかるかもしれませんが、軌道の形を記述している境界線は、95 % 信頼区間なのか。
→ 100 % ではないことが大事です (数学的に 100 % 信頼区間にしようとする、宇宙空間全体を張ることになってしまう)。50% なのか、80 % なのか、90 % なのか、95 % なのかなど、閾値は、表示をする際に任意に選ぶことが可能で、大きい数値を選ぶほど軌道の大きさが相対的に大きくなります。とはいえ、どこを選ぶのかには、特別に決まりがあるわけでもありません (と思う)。

● ハンドアウト p2 に、 $\nabla = \partial/\partial x + \partial/\partial y + \partial/\partial z$ とありますが、正しくは $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$ ではないでしょうか。
→ そのようにベクトル表示をしていただいても構いません。

● 時間依存の波動方程式について聞き逃したのか、なぜ、 \mathbf{r} で二階偏微分するのかわかりません。
→ 配布のハンドアウト資料において、 $\Psi(\mathbf{r}, t)$ の表記のうち、 \mathbf{r} は、 $\mathbf{r}(x, y, z)$ つまり、空間座標です。 t は時刻です。つまり、 \mathbf{r} で二階偏微分するというのは、 $\nabla^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2$ と同じ意味で、空間座標で二階偏微分しているだけです。

二階微分なのは (ハンドアウト資料の p2 にも対応していますが) 位置に対し、運動量が一階微分、運動エネルギーが二階微分になっているということに対応しています。

なお、時間依存の波動方程式については、試験等の対象にしません。これは、「時間に依存しない」ということが、原子軌道や分子軌道の形が、時間とともに変化しないという意味合いだからです。

● $\nabla^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2$ の意味がわからない。
→ 具体的には、 $\nabla^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2$ という式の意味は、 $\nabla^2\phi = (\partial^2/\partial x^2)\phi + (\partial^2/\partial y^2)\phi + (\partial^2/\partial z^2)\phi$ (ただし、 ϕ は、 x, y, z を引数とする関数で、明示的に示すなら、 $\phi(x, y, z)$ です) であるということです。右辺の第一項 $(\partial^2/\partial x^2)\phi = \partial^2\phi/\partial x^2$ は、 $\phi(x, y, z)$ を x で二階偏微分したもの、以下同様です。

一般にこのような演算子は、形式的には分離して書いていますが、 ∇^2 など、演算子単独でとらえるのではなく、 $\nabla^2\phi$ のようにある関数の左側を書いて、その右側にある関数を二階偏微分するところまでセットで意味を成すものと理解してください。類似の演算子として、たとえば (d/dx) を考えます。これを、 f の左側に書くと $(d/dx)f = df/dx$ になりますから、この (d/dx) は、「右側に置かれた関数を x で微分する演算子」です。

ハンドアウトにも書きましたが、演算子は一般的に順序について可換ではありません。つまり掛け算と同じには扱うことはできません。 $\nabla^2\phi$ は ϕ を二階偏微分したもので、 $\phi\nabla^2$ (ϕ と、この $\phi\nabla^2$ の右側におかれる何かを二階偏微分したものとの積) とは全く別物です。また、一般的には作用する順序を入れ換えることはできません。たとえば、微分してから二乗をとるのと、二乗してから微分をするのでは結果が変わります。

例 $\hat{A}f = f^2$ 、 $\hat{B}f = df/dx$ のとき、 $f(x) = x^2$ なら、 $\hat{A}(\hat{B}f(x)) = (2x)^2 = 4x^2$ 、 $\hat{B}(\hat{A}f(x)) = d(x^4)/dx = 4x^3$

● 2.11 式 $\nabla^2\phi = (-4\pi^2/\lambda^2)\phi$ の、二階微分作用素の固有方程式という部分について、詳しく解説してほしい。

ある関数 (やベクトル) に対してある演算をしたときに、もとの関数 (やベクトル) のスカラー倍になっているとき、この関数 (やベクトル) を、この演算についての固有関数 (や固有ベクトル) と言い、スカラー値のことを固有値と言います。 $\nabla^2\phi = (-4\pi^2/\lambda^2)\phi$ の左辺は、関数 ϕ に対して空間座標で二階偏微分を取 (つて和を取) るという演算子の固有関数となっており、その結果が元の関数の $(-4\pi^2/\lambda^2)$ 倍になっていることから、 $(-4\pi^2/\lambda^2)$ が固有値です。このような方程式が固有方程式です。たとえば、一階微分 (d/dx) については、指数関数が固有関数になります。 $(d/dx)\exp(ax) = a \cdot \exp(ax)$ ですよね。つまり、固有関数 $\exp(ax)$ は固有値 a と対応しています。二階微分 (d^2/dx^2) は、たとえば $\sin(ax)$ は一つの固有関数で、対応した固有値は $-a^2$ です。

なお、シュレディンガーの波動方程式 (時間に依存しない) は、 $\hat{H}\phi(\mathbf{r}) = E\phi(\mathbf{r})$ (ただし、 \mathbf{r} は一般化した空間座標で、 x, y, z または、極座標表示では r, θ, ϕ などです) と表され、ハミルトン演算子 (ハミルトニアン) は、運動エネルギーを与える部分が二階微分の形を持っていますから、いわゆる二階微分方程式になっているわけです。昨年度の情報処理でも学習しましたし、数学でも当然学習している内容ですが、微分方程式の解は関数として求まります。

● ハミルトニアンは、 φ の前の部分を括りだしたような形をしていますが、実際の関数で、微分後の関数と定数をかけただけの関数から、元の関数を括り出すような計算はできないですね。

→ ハミルトニアンは演算子ですから、通常の数値などとは扱いが異なります。掛け算とは異なるので、作用させる順序に対しても可換ではありませんし、右から作用させるのと左から作用させるのも区別する必要があります。たとえば単純な演算子 (d/dx) について考えると、わかりよいでしょう。上に述べたように、これは指数関数 $f(x) = \exp(ax)$ を固有関数としています。 $(d/dx) f(x) = a f(x)$ を満たしますが、 $f(x)$ を約分して消してしまい、「 $(d/dx) = a \times$ 」と変形することはできません。微分することと、 a 倍することは全く違う操作ですし、 $(d/dx) f(x) = a f(x)$ は (どんな関数でも成り立つような) 恒等式であるわけではないからです。

しかし、質問者氏の言うところの「実際の関数で、微分後の関数と定数をかけただけの関数から、元の関数を括り出すような計算」が、 $(d/dx) f(x) = a f(x)$ から、 $(d/dx) f(x) - a f(x) = 0$ と書き直し、括り出して $\{(d/dx) - a\} f(x) = 0$ と表記していいか、という意味ならば、約束ごとにも依りますが、特に問題はありません。実際、 $\{(d^2/dx^2) + V(x)\}$ の形の演算子がハミルトニアンになっているわけです。

● ハミルトン演算子について、もうちょっと説明が欲しい。

● (5)ページの $m \neq 0$ の粒子について考えるがよくわかりませんでした。

→ ハミルトニアン (ハミルトン演算子) \hat{H} について大事なところをまとめておきます。

・ H は、ハミルトンの頭文字です。

・「 $\hat{\quad}$ 」(ハット、またはキャレットなどと読む) は、PC などでは単独で、べき乗を表すための演算記号として利用します ($2^{\wedge}3 = 2^3$ など) が、ここでは、 \hat{H} が演算子であることを示す記号となっています。具体的には、 \hat{H} は空間座標による二階微分を含んだ演算子です。

シュレディンガーの波動方程式を導く一つのルートは、教科書の 2.1.2、ハンドアウト資料 p5 の前半となります。落ち着いて式を追いかければわかりやすいと思いますので、必ず全員チャレンジしておいてください。

・質量 m の粒子を考えます。粒子のもつ速度、加速度は、 $v = dx/dt$ 、 $a = d^2x/dt^2$ とします。この粒子のもつ運動量 p は、 $p = mv$ で与えられ、運動エネルギーは $K = mv^2/2 = p^2/2m$ で与えられます (2.9 式)。ここから、分かるのは古典力学系では、粒子の位置 x の一階微分で運動量が求まり、その二乗で粒子の運動エネルギーが求まっているということです。量子力学では、波動関数自体は位置そのものではありませんが、波動関数の位置による一階微分により運動量が求まり、これを二回繰り返す (結果として二階微分を行う) ことで、運動エネルギーが求まるという考え方は同じです。

つまり、 $p = mv$ に対応して、運動量を与える演算子 \hat{p} は、 $\hat{p} = m \times (d/dx)$ である。また、 $K = p^2/2m$ に対応して、運動エネルギーを与える演算子 \hat{K} は、 $\hat{K} = \hat{p}\hat{p}/2m = m^2/2m \times (d^2/dx^2)$ である。ここでこの後大事なことは二階微分になっているということであって、係数は後述のように自然に決まるので、今は放っておいていいことにして構いません。

・さて、いきなりですが定常状態にある波 ψ を考えます。2.10 式。

・この式は (三角関数なので当たり前ですが、二階微分についての固有関数となっていますので) 二階微分を取ってみます。元の関数の $(-4\pi^2/\lambda^2)$ 倍になりました (2.11 式)。

・この λ はそもそも 2.10 式で考えたときに突然でてきたもので、この波 ψ のもつ波長です。物質を粒子として考えるときには、波長という概念が存在しません。しかし、二階微分に対する固有関数は三角関数で表されるような波でなくてはなりませんので、無理矢理に対応を考えていきます。ここで、シュレディンガーは (と説明上しておきますが)、ドブロイ波 (物質波) の式 2.8 式を利用できることに気づきます。さて、この式では、 $\lambda = h/p = h/mv$ となっています。質問者氏の疑問箇所、「 $m \neq 0$ の粒子について考える」は、そもそもこの物質波の式の前提です。光子など、質量がない ($m=0$) の場合には、式 $\lambda = h/mv$ は使えません。右辺の分母がゼロになってしまうからです。電子や原子核については問題なさそうですので、続けることにします。

・2.8 式を代入したものが 2.12 式です。むしろ式を整理して、係数 $\times (d^2/dx^2) \psi = \psi$ となっています。ところで、この係数の分母中には p^2 という項が含まれています。これは、2.9 式と比較したときに $2mK$ であることが分かりますので、代入して整理をします (2.13 式)。

・2.13 式から 2.14 式への変形は機械的なものです。ただし、ディラック定数 (または、換算プランク定数) \hbar は、プランク定数 h を 2π で除したものです ($\hbar = h/2\pi$)。

・出てきた 2.14 式がシュレディンガーの波動方程式の完成形です。ここで、

$$\hat{H} = \left\{ (-\hbar^2/2m)(d^2/dx^2) + U(x) \right\}$$

と書いてやれば、式 2.16 になります。

● 教科書 p25 に「シュレディンガー波動方程式により粒子性と波動性を同時に表現すること… (中略) …が可能になった」とあるが、何をもってそういえるのか。粒子性とは質量 m と位置エネルギー U を用いていること、波動性は波動関数 ψ を用いていることで表せているということではないのか。

→ 粒子性については、どちらかというと離散的なエネルギーをもつことに対応していると考えて下さい。

質量のない光子も、粒子性を持つと言えます。実際、電子で考えると、位置エネルギーがない（まったく束縛のない）電子は、宇宙空間全体に広がった波になってしまいますから、位置エネルギーにより束縛されていることが粒子化に影響していることは間違いありませんが、位置エネルギーによる束縛を受けたからといって粒子として存在しているのではなく、波として（原子軌道や分子軌道の形に）広がっていることには変わりありません。

● 位置が厳密に決まる極限 ($\Delta x = 0$) では、全ての波長の無限級数の和になっているという説明で、さらっと「フーリエ変換ができない」ということを口に出していたが、これの意味するところは何か。

→ 位置が厳密に決まる極限 ($\Delta x = 0$) では、デルタ関数になり、ある一点以外では関数値はゼロ、その一点では無限大、その関数の積分は 1 を表す、ということになります。まったく波長成分を持っていないので、フーリエ変換ができない（フーリエ変換により波長成分を取り出すことができない）と申し上げました。

● カーシャ則の説明を聞き逃してしまったので、もう一度お願いします。

→ 光励起を受けた分子が、速やかに第一励起の基底振動の状態にまで失活する、です。昨年度の機器分析のケイ光のところで、どんな励起を行っても、 S_1 の v_0 からの発光が起きると話したと思います。

● ドブロイは名前的にフランス貴族っぽいですが、地位も高く、頭もよくてすごいですね。ハミルトンやシュレディンガーなどもそうかもしれませんが、新しく発見された物理法則は日本にも同時くらいに入ってきて研究が進んでいたのでしょうか。

→ ルイ・ド・ブロイは、1987 年、94 才没だそうです。案外最近まで生きていたのですね。同じ年代ごろに活躍した日本の物理学者では、たとえば長岡半太郎（1950 年、85 才没）など有名でしょう。長岡半太郎は、原子の構造について、土星型のモデルを提唱した方です。その後、ラザフォードらが、金箔をもちいた α 線の回折実験から、原子核のサイズがずっと小さいことがわかり、1911 年のラザフォードの原子模型に落ち着きます。その後、このラザフォードのモデルの物理学的な矛盾を解消し、水素の輝線スペクトルを説明することのできるものとして、量子力学の先駆けとなるボーアモデルが誕生します。

さらに同時期に活躍した有名な日本人といえば、みなさんもご存じの（であるべき）湯川秀樹博士でしょう。原子核内部において、陽子や中性子を互いに結合させる強い相互作用の媒介となる中間子の存在を 1935 年に理論的に予言しています。湯川氏の没年は、1981 年、74 才だったそうです。ド・ブロイ氏の方がその後 6 年も長く生きておられたということですね。

● シュレディンガーさんは、数学者だったのでしょうか。思考実験というやり方がおもしろいですね。

→ ウィキペディアの記述によれば、オーストリア出身の「理論物理学者」と述べられています。

思考実験は、物事を単純化して考えたらこうなるはずよ、というような意味合いもありますから、皆さんだって多かれ少なかれやっていることかもしれません。

思考実験の代表的なものとしては、ガリレオ・ガリレイの落下の思考実験などが有名でしょう。それまでは、鉄の球と羽毛（のように空気抵抗を受けるが故に、見かけ上ゆっくりと落ちるもの）の推論から、重いものほど速くおちるとというのが常識でした。しかし、ガリレオは、重さの異なるふたつの物体をひもでつないで落下させるといった簡単な思考実験から「重いものほど速く落下するわけではない」という、それまでの常識と異なる結論を出しました。

他、科学的なもの以外にも哲学的命題もふくめ、さまざまな思考実験の例がウェブ等にまとめられています。

● できればもう少し黒板に色々書いていただくと、分かりやすくてよいと思います。

→ 教科書に記述のあるもの、ハンドアウト資料に書いてあるものについては、単に重複となりますので、わざわざ板書しません。とはいえ、その都度、ハンドアウト資料のどこを参照しているのか等、明示的に示すように工夫します。

材料系のみを対象としており、人数も少ない授業ですから、どの部分の説明をしているのかが分からない場合などは、遠慮せずに質問してください。説明者側の落ち度でわかりにくくなっている場合もあると思います。遠慮せずに質問したりしていただく方が、全体のためになるかと思います。その他、資料の記述ではわかりにくいところについても、授業中、またはRSで遠慮なく質問して下さい。

● 苦手な分野の話だと認識すると、説明が全く頭に入ってきません。どうしたらよいでしょうか。

→ これは教員側から答えるべき質問ではないような気がします。もちろん、単位を取らないという選択肢は残りますが、推奨はしません。ならばどうすべきか、貴方が考えましょう。「どうしたらよいか」ではなく、この部分の説明がわからないなど、内容についての具体的な質問であれば、時間のゆるす範囲で対応しますよ。

● 波動関数を考えた人はすごいなあと思った。

● ハミルトニアンについてが難しかった。

→ 前にも申し上げましたように、具体的な質問をする前提で授業を聴くことが、皆さんのためになると思ってRSを書いてもらっています。なので、次は、感想を書くのではなく、具体的な質問をするように心掛けましょう。