ChatGPT との作用反作用問答

北里大学 山本明利

ChatGPT は米国のベンチャー企業 OpenAI 社が 2022 年 11 月に公開した人工知能チャットボットである。日本国内でも 2 月に公開された。東京都市大の右近修治さんから面白そうだとの情報をいただき、さっそく試してみた。その名の通りチャットの要領で、文字で対話をする。質問をテキストで入力してエンターキーをたたくと、10 秒程度でテキストで回答が返ってくる。学生に課している論作文課題を与えてみたところ、整った日本語で合格点を与えられる答案が返ってきた。

いろいろ試す中で、力学の素朴概念をめぐる一連のやりとりが興味深かったので、その一問一答を以下に紹介する。下線は問題のある部分で筆者が施した。

【問 1】机の上に置いた物体にはたらく重力の反作用は何ですか。

【回答】物体にはたらく重力の反作用は、ニュートンの第三法則によって、「物体が他の物体に作用する力と同じ大きさで逆方向の力が、他の物体から当該物体に作用する」というものです。すなわち、机の上に置いた物体には、地球からの引力がはたらいていますが、同時に物体が地球に対して反作用として等しく大きな力を働かせています。つまり、物体が地球を引っ張っていると考えることができます。この重力の反作用がなければ、物体が地球の引力に従って加速し続けてしまうことになります。

途中まではまずまずの回答だったが、最後に余計な一言を付け加えて語るに落ちた感がある。下線部は重力とつり合う力について言及していて、作用反作用とつり合う 2 力の混同が見られる。典型的な誤概念である。さっそく突っ込みを入れる。

【問 2】「この重力の反作用がなければ、物体が地球の引力に従って加速し続けてしまうことになります。」ということは、その重力の反作用が重力を打ち消しているということですか。

【回答】申し訳ありませんが、私の前回の回答には誤りがありました。重力の反作用によって、物体には向かい合う 2 つの力が働いていることとなります。一方は物体が地球に引かれる重力の力であり、もう一方は物体が地球に対して反作用として働かせる同じ大きさで逆向きの力です。この 2 つの力は、作用反作用の法則に従って、同時に存在し、重力を打ち消すものではありません。むしろ、物体に作用する力として考えることができます。

つまり、物体が地球に引かれている状態では、物体に重力が働いているだけでなく、同じ大きさで逆向きの力が物体から地球に働いていることとなります。この 2 つの力が存在することで、物体は静止するか、等速直線運動を続けることができます。加速度が働く場合は、これらの力のバランスが崩れるためであり、このときには物体に力が働いていることが原因となっています。

突っ込まれた雰囲気を感じて、自分が間違っているかもしれないと気づき、とりあえず謝ってくる。このへんはなかなか如才なく設計されている。とはいえ誤概念は解かれていなくて混乱が見られる。ずばり誤りを指摘してみる。

【問 3】「この 2 つの力が存在することで、物体は静止するか、等速直線運動を続けることができます。」というのは力のつりあいを意味していて、作用・反作用の関係にある 2 つの力とは異なるではありませんか。

【回答】はい、ご指摘いただいて正しいです。誤解を招く回答をしてしまい、申し訳ありません。重力の反作用によって、物体には向かい合う 2 つの力が働いていますが、これらの力は作用・反作用の関係にあるものではありません。重力の作用力は物体が地球に引かれる力であり、反作用力は地球が物体に引かれる力であることを正しく認識する必要があります。つまり、重力の反作用は重力を打ち消すものではなく、物体に対する地球の反作用力ということになります。

また、物体が静止しているか、等速直線運動をしている場合、物体に働く合力はゼロになるため、力のつりあいも成立しています。これは、物体には複数の力が働いている場合でも成立する原則です。重力も含め、物体に働く力を全て考慮することで、力のつりあいが成立するかどうかを判断することができます。

「誤解を招く回答」という表現はややいいわけがましい。まだ反作用の概念は曖昧であり、後段は元の質問とは関係のない力のつり合いについて述べていて、そこから離れられないという思い込みが見られる。そこで少しヒントを出すことにした。

【問4】力のつりあいを考えることができるのは、同じ物体にはたらく2力の場合であり、作用と反作用はそれぞれ異なる物体にはたらいでいるのですから合成することすらできないはずです。

【回答】ご指摘いただきありがとうございます。申し訳ありませんでした。作用・反作用はそれぞれ異なる物体に作用する力であり、合成することはできません。したがって、力のつりあいの考え方は、同じ物体に働く複数の力がつりあっている場合にのみ適用されます。

物体に作用する複数の力がつりあっている場合には、合力がゼロになるため、物体は静止するか、等速直線運動を続けることができます。このように、力のつりあいを考えることで、物体の運動状態を理解することができます。ただし、作用・反作用の関係にある力は別々の物体に作用するため、力のつりあいの考え方とは別個に理解する必要があります。

誤りはすぐに認めて前言を翻す。相手の言葉を繰り返す形でわかったように振る舞うが、実はまだわかっていない。どうしても力のつり合いに戻って行ってしまふ。素朴概念は手強い。問4の回答は一応間違っていないのであるが、念のため最初の問いを繰り返してみる。

【問5】それではあらためて、机の上に置いた物体にはたらく重力の反作用は何ですか。

【回答】机の上に置かれた物体には、地球が引き起こす重力が作用しています。このとき、物体には地球から下向きに向かって重力が働いていますが、同時に物体から地球に上向きに向かって反作用の力が働いています。これが重力の反作用です。重力の反作用によって、物体は地球の引力に従って静止しているか、等速直線運動を続けることができます。

というわけで結局振り出しに戻ってしまった。誤概念はまだ払拭されていない。そこをずばり指摘してみる。

【問6】「重力の反作用によって、物体は地球の引力に従って静止しているか、等速直線運動を続けることができます。」という回答は、まだ作用・反作用をつり合う2力と混同していると読み取れます。

【回答】申し訳ありません、確かに私の回答は作用・反作用の関係についての説明が不十分で、混乱を招いてしまったようです。重力の場合、物体が地球に引き寄せられると同時に、地球も物体に引き寄せられます。このとき、物体が地球に作用する力が「反作用の力」であり、地球が物体に作用する力が「作用の力」です。したがって、机の上に置かれた物体には、地球から下向きに向かって作用の力が働いており、同時に物体から地球に上向きに向かって反作用の力が働いています。この2つの力がつりあうことで、物体は静止するか、等速直線運動を続けることができます。重力の反作用によって、物体が地球の引力に従っていることが説明できます。改めて正確な回答をありがとうございます。

そろそろ話を切り上げたいらしく、お礼を言って逃げ腰になっている。でもまだ許してあげない。物体から地球にはたらく引力と垂直抗力の区別がついていないとみて、別の角度から攻めてみる。

【問7】いいえ、物体にはたらく重力の反作用である「物体が地球を引く力」は「地球」にはたらく力であり、「物体」にはたらく重力とのつりあいを考えることはできません。それでは、物体にはたらく重力とつりあっている力は何ですか。それは重力の反作用とはどのように異なりますか。

【回答】物体にはたらく重力につりあっている力は、ニュートンの第3法則によれば、物体が地球に引かれる力と同じ大きさで逆向きの力ですが、向きが異なるため、重力の反作用とは異なるものです。この力は、通常「支持力」と呼ばれ、物体を支えている力です。支持力は、物体が地面や机の上に置かれている場合は、その表面から物体を支える力が働くため、反作用が発生します。支持力は、物体が水中や空气中を移動する場合にも存在し、その場合は流体が物体に対して抵抗力を発生させることで支持力が発生します。

ここで登場した「支持力」なる用語は、土木工学など工学畑で使われる業界用語であるが、物理学で言うところの「垂直抗力」の意味で用いているのだろう。後半では「揚力」のニュアンスでも用いられている。案の定、重力の反作用は垂直抗力だという誤概念に加えて、反作用弾性原因説も登場した。AIが学習基盤としている巷の人間が書いた文字情報にそうした誤概念があふれているので、それを読んで学習しているAIも誤概念に感染し

てしまうのである。人間の認識におけると同様、この誤概念は強力でなかなか手強い。

【問8】あなたが言う「支持力」は物理学では「垂直抗力」と呼ばれます。それは物体にはたらく重力の反作用ではありませんね。

【回答】ご指摘ありがとうございます。確かに、私の回答は不正確でした。垂直抗力は物体が支持面に対して垂直に押し戻される力であり、物体にはたらく重力とつりあっている力です。重力の反作用は、物体が地球に引かれると同時に、物体が地球を引く力を生じさせます。この力は地球にはたらく力であり、物体にはたらく重力とは異なります。申し訳ありませんでした。

この回答はこちらが教えたことを繰り返しているのです、この範囲では正しい。それでは正しい概念理解に達しているか、聞き方を変えて探りを入れてみる。

【問9】では、机から物体にはたらいっている「垂直抗力」の反作用は何ですか。

【回答】垂直抗力は、物体と支持面との接触によって生じる力であり、支持面から物体に向かってはたらく力です。そのため、物体から支持面に向かってはたらく力が垂直抗力の反作用になります。つまり、物体が支持面に静止している場合、物体が支持面にはたらく力は重力と垂直抗力であり、支持面が物体にはたらく力は、垂直抗力と重力の反作用であることになります。

ちょっと日本語が怪しくなってきた。「物体が支持面に及ぼす力」だろうか。それを「重力」と同一視している。それとは別に垂直抗力を考えているようだ。「支持面が物体に及ぼす力」として重力の反作用をあげている。議論しているうちにさらに混乱してきたようだ。ここは整理してあげなければならない。

【問10】物体が支持面に重力をおよぼすことはありません。重力はあくまでも地球が物体を引く力です。支持面が受ける力ではありません。あらためて、机から物体にはたらいっている「垂直抗力」の反作用は何ですか。

【回答】申し訳ありません、前回の回答が不正確でした。物体が机に置かれている場合、物体には下向きの重力が働き、それに対して机からは上向きの垂直抗力が働きます。このとき、物体が机の上に静止している状態を考えると、物体に作用する重力と垂直抗力は同じ大きさで反対方向に働いており、力のつりあいが成り立っています。したがって、物体にはたらく垂直抗力の反作用は、物体が机から受ける下向きの力、つまり重力です。

助詞の使い方は苦手のようなのである。日本語は難しいと思っているかもしれない。「机が物体から受ける下向きの力（これも垂直抗力）」と答えてほしいところだが、まだ「重力」と同一視する誤概念に引きずられている。間違いをずばり指摘してあげることにしよう・

【問11】「物体が机から受ける下向きの力、つまり重力です。」は2つの意味で間違っています。物体は机から下向きの力を受けてはいません。おそらく物体が机を下向きに押す力をさしていると思いますが、それは「重力」ではありません。

【回答】申し訳ありません、私の回答が誤解を招くものであったようです。私たちはここで、机に置かれた物体にはたらく力と、物体が机に対して加える力とを区別する必要があります。

机に置かれた物体には、地球によって引かれる重力が働きます。同時に、物体が机を支持するために、机の表面から物体に向かって垂直に働く力（垂直抗力）が発生します。これらの力は互いに作用・反作用の関係にあります。

物体が机に対して加える力は、重力とは異なります。物体が机を押す力が働いている場合、その力は物体と机の接触面に沿って働く摩擦力として表現されます。

矢印を描きながら説明できればわかりやすいのだろうが、意思疎通の手段がテキストしかないのです、共通のイメージを作るのに苦労する。物理教育で多様表現の重要性が叫ばれる所以である。「物体が机を支持するために」は明らかに「机が物体を支持するために」の誤りで向きが逆である。まだつり合いと作用反作用の区別ができていない。混乱の極みで、ついに摩擦力が登場してしまった。

【問 12】あなたはまだ誤解しているようです。それでは机を省略して、物体と地球だけで考えましょう。物体が地面に近い空中にあるとき、物体にはたらく重力の反作用は何ですか。

【回答】物体にはたらく重力の反作用は、物体が地球を引く力です。この力が存在することによって、物体は地球の引力に従って静止するか、等速直線運動を続けることができます。重力の反作用は、物体が地球に向かって引っ張られる力であり、物体が地球に落ちるのを防いでいます。

作用反作用の法則を言葉通り機械的に当てはめることには成功しているが、概念的にはまだ理解に至っていない。どうしてもつり合いの方に引っ張られてしまう。

【問 13】今の場合、物体は空中にあり、重力以外の力を受けていません。このとき物体にはたらく重力の反作用は何ですか。また、物体はどんな運動をしていますか。

【回答】物体には、地球が物体に引力を及ぼしているため、物体が地球に引力を及ぼす力である「物体が地球を引く力」が重力の反作用となります。物体は静止しており、等速直線運動をしていません。これは、物体が空中に浮いている場合、物体には支持力や空気抵抗などの他の力が働かないため、重力と重力の反作用のつり合いによって静止しているか、等速直線運動を続けることができるためです。

もうこうなるとでたらめである。AIの頭の中はよほど混乱しているに違いない。論理が堂々巡りしている。自力で概念形成に至るのは難しそうだ。極力控えてきたが、仕方がないのでヒントを出すことにした。

【問 14】いいえ、重力だけがはたらいているのですから、物体は自由落下や放物運動など、「重力による運動」をしているはずです。力のつりあいは成り立っていますか。

【回答】重力が物体に働く場合、力のつりあいは成り立っていません。重力は物体に対して下向きに働く力であり、他にはたらく力がない場合、物体は自由落下運動をします。つまり、物体は加速していくこととなります。

やっと机を取り払った場合のイメージがつかめたようだ。自由落下だけを例示して放物運動を挙げていないからインペタス誤概念の有無は不明だが、本題から外れるのでここでは触れないことにして、あらためて前の問いに戻ろう。

【問 15】そうですね。そのとき物体にはたらく「重力」の反作用は何ですか。

【回答】重力の反作用として、物体が地球を引く力があります。この力は、地球が物体に対して等しい大きさで反対方向に働く力です。しかし、地球の質量は非常に大きく、物体が地球を引く力の影響は無視できるほど小さいため、通常は考慮されません。

下線部の表現が怪しいが、最後の一文があるので言いたいことはわかる。これで本当にわかったのかどうか、机を間に入れてみよう。

【問 16】そのとおりです。それでは机の上に置いた物体の問題に戻りましょう。物体にはたらく重力は、机から物体にはたらく上向きの垂直抗力とつりあっています。この「机から物体にはたらく垂直抗力」の反作用は何ですか。

【回答】「机から物体にはたらく垂直抗力」の反作用は、物体から机に向かう「等しい大きさの下向きの力」です。この2つの力は作用・反作用の関係にあり、つりあっていると考えることができます。この力のつりあいによって、物体は静止しているか、等速直線運動を続けることができます。

惜しいなあ、最後に余計なことを言うから間違いなんだよなあ。どうしてもつり合いから離れられない強い思い込みがあるようだ。これこそが誤概念・素朴概念であり、一般人類の認識に共通するイメージなのだ。

もう一時間以上チャットを続けている。こちらも疲れてきたのでそろそろ収束点を見いだしたい。

【問17】何度も繰り返しますが、作用・反作用の関係にある力は、別々の物体にはたらいている2力なので合成できず、つりあっていると考えることはできません。

【回答】おっしゃる通りです。重力と垂直抗力は別々の物体に作用している力であり、つりあいを考えることはできません。重力が物体に作用すると同時に、垂直抗力は机に作用していますが、これらは同じ物体に作用しているわけではありません。したがって、作用・反作用の関係にあるわけではなく、単に別々の力として考える必要があります。

微妙なところだが、ここで言う「垂直抗力」は、物体が机を下向きに押す垂直抗力のことを指しているのだと考えれば間違ったことは言っていない。ただ、「したがって」が気になる。そろそろ正解を教えてあげようか。

【問18】「物体にはたらく重力」と「机から物体にはたらく垂直抗力」は共に物体にはたらく力でつりあいを考えることができます。一方、「机から物体にはたらく垂直抗力」の反作用として「物体から机にはたらく垂直抗力」もあって、これらは作用・反作用の関係にあります。物体が静止しているとき、これらの力はどれも同じ大きさです。それでは、「物体から机にはたらく垂直抗力」は「物体にはたらく重力」とどう異なりますか。

【回答】「物体から机にはたらく垂直抗力」と「物体にはたらく重力」は、向きが逆であることを除いて同じ大きさです。つまり、物体から机にはたらく垂直抗力は、物体にはたらく重力に対して同じ大きさで逆向きの力として作用しています。これに対して、重力の反作用である「物体が地球を引く力」は、「地球」にはたらく力であり、「物体」にはたらく重力とのつりあいを考えることはできません。

図が使えないので、向きに関する誤解がなかなか解けない。ポイントは机にはたらく力が物体にはたらく力かという「力のはたらき先」の違いなのだが、その肝心の点をスルーしている。もう一度問い直す。

【問19】「つまり、物体から机にはたらく垂直抗力は、物体にはたらく重力に対して同じ大きさで逆向きの力として作用しています。」という回答は誤っています。物体から机にはたらく垂直抗力は下向きであり、物体が机を押す力のことです。それは、物体が静止しているとき、物体にはたらく重力と同じ向き、同じ大きさです。あらためて、「物体から机にはたらく垂直抗力」は「物体にはたらく重力」とどう異なりますか。

【回答】「物体から机にはたらく垂直抗力」と「物体にはたらく重力」は、向きが逆であること以外にも、性質が異なります。物体にはたらく重力は、物体の質量に比例する大きさの力であり、地球が物体を引っ張る力です。一方、「物体から机にはたらく垂直抗力」は、物体が机を支持するために机から受ける力であり、支持面の性質や物体と支持面の接触状態によって変化することがあります。また、「物体から机にはたらく垂直抗力」と「物体にはたらく重力」は、つりあっているわけではなく、別々の物体にはたらく力であるため、比較すること自体ができません。

力の「及ぼし手」と「受け手」の区別が文字の対話からはつかみにくいようである。ここでは力のつり合いについてはひとつも聞いていないのに、またつり合いに言及していて、強い思い込みがあると想像できる。そろそろ教えてあげることにしよう。

【問20】「物体から机にはたらく垂直抗力」は机にはたらく力であり、「物体にはたらく重力」は言葉どおり物体にはたらく力です。はたらく先が違っているので、たとえ同じ大きさ、同じ向きであっても、同一の力と見ることはできません。

【回答】その通りです。物体と机の間で作用している力は別々の力であり、それぞれ別々に考える必要があります。重力と垂直抗力は、同じ物体に作用する力ですが、それぞれ別々のものであり、異なる対象物に作用しているため同一の力としては扱えません。重力は地球が物体にかける力であり、垂直抗力は物体が机にかける力です。

おいおい、それはこちらが教えてやったことだろう。さも前から知っていたみたいに言うなよ。受け売りは得意だねえ。まあ、それが設計のコンセプトだからしかたがないか。でもだいたい理解は進んできたかな。

もう2時間近く対話しているので疲れてきた。そろそろ話を締めくくるために、最後のまとめに取りかかろう。

【問21】同じ「垂直抗力」でも、「物体が机におよぼす下向きの垂直抗力」とその反作用である「机が物体におよぼす上向きの垂直抗力」があって、作用・反作用の対をなしています。力は常に相互作用であり、作用・反作用の対であられるので、何かから何にはたらいている力かを明確にして議論しないと、これまでの議論のように混乱してしまうということです。さらに勉強しましょう。

【回答】はい、完全に理解しました。ありがとうございます。力学は非常に複雑であり、私たちが思う以上に微妙なニュアンスが存在することを示しています。適切な用語と明確な表現が重要です。何か他に質問があれば、お答えいたします。

本当に理解したか怪しいところだが、自信たっぷりに答えてきた。微妙なニュアンスが存在することに気づいてくれただけでも前進かな。

【問22】長い間お付き合いいただき、ありがとうございました。またお話ししましょう。

【回答】いいえ、私こそありがとうございました。また何かお困りのことがありましたら、いつでもお話ししましょう。

一連のやりとりで感じたことは、AIが自分に絶対の自信を持っていて、誤りを指摘すればそれを素直に認めはするが、すぐに上から目線の発言に戻ることである。プライドが感じられる。映画「2001年宇宙の旅」の人工知能「HAL9000」を思い出した。

AIは一度身に付けた知識は忘れないと思うが、今回学習した内容が、力学概念として本当に定着したのかは興味があるところである。この学習結果が即座に世界中のチャットの回答に反映して、正しい概念が普及すれば教え甲斐があるというものだ。AIを使った学習は今後すぐに普及するだろうから、AI自身を教育していくことは、グローバルな意味での教育に資することになるだろう。

後日、別のアカウントを取って、別人を装って同じ問いを投げかけて試してみようと思う。

2023年2月23日 YPC2月例会