【訂正のお知らせ】

初版の p.95 から p.96 にかけて説明に誤りがありました。
初版では、星の光が面積 1 平方センチメートルの目に飛び込み、その光が約 1 億個の視細胞に等しく分配されると仮定して計算を行いましたが、星の光が角膜や水晶体によって網膜の狭い範囲に集光される効果を考慮に入れていませんでした。
また、光が入る瞳孔の面積は実際にはもっと小さいこと、そして、目に入った光の全てが視覚に寄与するわけではない点も考慮に入れる必要があります。
これらを全て総合すると、光を単純な波と考えた場合、北極星の光は、初版で見積もった数万秒でなく、10 秒程度見続けてはじめて認識できる計算になります。「光を単純な波と考えたら夜空に星が見えない」という結論は変わりませんが、この点について記述を訂正させていただきます。

以下に、修正部分を記載いたします。

（旧）初版：p95～p96
　例として北極星に焦点を当てましょう。北極星が１秒間に放出する光のエネルギー量は、その明るさと距離から換算して、太陽の２・５倍に相当する $9.5\times10^{26}$ J 程度です。北極星から放たれた光は球面状に広がるので、地球に到達する頃には半径４３３光年の球面上に $9.5\times10^{26}$ J の光エネルギーが一様に分布していると思ってよいでしょう。地上で空を見上げる私たちの目の面積は概ね１㎠程度です。すると、北極星が放つ光のうち、私たちの目に飛び込む光のエネルギーは毎秒 $4.5\times10^{-16}$ J 程度と見積もれます。
　ここで問います。この光は見ることができるでしょうか？
　仮に光が単純な波だったとしましょう。この場合、光の波は網膜上に一様に降り注ぎます。人間の網膜には約１億個の視細胞があるので、北極星から出た光のうち、１個の視細胞が受け取るエネルギーは毎秒 $4.5\times10^{-24}$ J 程度です。化学反応の典型的なエネルギーは $10^{-19}$ J 程度なので、この光がタンパク質の立体構造を変化させるためには、ざっと数万秒間、光を照射し続けなければいけないことになります。北極星は肉眼では見えない、と結論せざるを得ません。もちろん北極星は２等星という比較的明るい星で、肉眼でバッチリ見えます。矛盾してしまいます。
　一方、光が光子の集まりだとしましょう。目に飛び込む毎秒 $4.5\times10^{-16}$ J のエネルギーを持つ光は、可視光線の代表的な波長である５００nm の光子に換算して、１２００個程度の光子からできています（実際は波長に分布があるのでもう少し多いはずですが、話を単純化しています）。この場合、光子１個が $4.0\times10^{-19}$ J 程度のエネルギーを持つ粒子なので、１個の光子につき１個の視細胞のタンパク質の立体構造を変化させることができます。結果、１２００個ほどの視細胞から脳にシグナルが発信されることになります。生理学の研究によると、人がはっきりと「見えた」という反応を示すためには、光子 30 個程度で十分なのだそうです。この基準と比べると、北極星の光は肉眼で十分に見られることになり、現実に北極星が明るい星であることとも矛盾しません。光が量子であると考えないと、「夜空に星が見える」という当たり前のことすら説明できないのです。

（訂正後）

例として北極星に焦点を当てましょう。北極星が１秒間に放出する光のエネルギー量は、その明るさと距離から換算して、太陽の２・５倍に相当する $9.5\times10^{26}$ J 程度です。北極星から放たれた光は球面状に広がるので、地球に到達する頃には半径４３３光年の球面上に $9.5\times10^{26}$ J の光エネルギーが一様に分布していると思ってよいでしょう。地上で空を見上げる私たちの目の瞳孔の面積は、大きめに見積もって 50 ㎟程度です。すると、北極星が放つ光のうち、私たちの目に飛び込む光のエネルギーは毎秒 $2.3\times10^{-16}$ J 程度と見積もれます。

ここで問います。この光は見ることができるでしょうか？

仮に光が単純な波だったとしましょう。目の表面に一様に降り注いだ光は角膜と水晶体で網膜上に集光されます。目の良い人が見分けられる星の位置は、角度にして約 10 分（６分の１度）なので、星の光はこのくらいの範囲に集光されると思って良いでしょう。片目の視野は約１５０度なので、面積に換算すると、網膜全体の１００万分の１くらいの領域に星からの光が当たることになります。星を見るのは網膜の中でも感度の良い部分であることも考慮に入れると、反応できる視細胞の数は３００個程度と思って良いでしょう。ただし、文献を紐解いてみると、網膜に届いて視覚に寄与する光は角膜から入った光全体の 10%程度なのだそうです。これらを総合すると、北極星から出た光の内、１個の視細胞が受け取るエネルギーは、目の表面に届いたエネルギーの約３０００分の１、すなわち、毎秒 $7.5\times10^{-20}$ J 程度と概算できます。化学反応の典型的なエネルギーは $10^{-19}$ J 程度なので、この光がタンパク質の立体構造を変化させるためには、10 秒間ほど光を照射し続けなければいけないことになります。北極星は肉眼では見えない、と結論せざるを得ません。もちろん北極星は２等星という比較的明るい星で、肉眼でバッチリ見えます。矛盾してしまいます。

一方、光が光子の集まりだとしましょう。目に飛び込む毎秒 $2.3\times10^{-16}$ J のエネルギーを持つ光は、可視光線の代表的な波長である５００nm の光子に換算して、５８０個程度の光子からできています（実際は波長に分布があるのでもう少し多いはずですが、話を単純化しています）。この場合、光子１個が $4.0\times10^{-19}$ J 程度のエネルギーを持つ粒子なので、１個の光子につき１個の視細胞のタンパク質の立体構造を変化させることができます。生理学の研究によると、人は 30 個程度の光子が目に入ると「見えた」という反応を示すのだそうです。５８０個という光子の数はこれに比べて十分に多く、現実に北極星が明るい星であることと矛盾しません。光が量子であると考えないと、「夜空に星が見える」という当たり前のことすら説明できないのです。

以上