

投稿

高校生によるドレイク方程式の修正

渡會 兼也（金沢大学人間社会学域学校教育学類附属高等学校）

1. はじめに

本稿は、筆者が勤務先の高等学校で行っている理科総合 B(高校 1 年生対象)での活動内容の紹介である。筆者は夏休みに「宇宙人は存在するか?」というレポート課題の提出を求めた。その後提出されたレポートをみると、ドレイク方程式とフェルミのパラドックスについて興味を持った生徒が数多くいたことがわかった。そこで、ドレイク方程式とフェルミのパラドックスをもう少し掘り下げることによって地球外生命について考えてもらうために 2 回ほど授業を行い、学期末にテストを行った。テストでは「ドレイク方程式をどう変えるか」を自由記述で答えてもらった。ドレイクの式の中で考えられていない視点を指摘し、修正することがポイントである。

こんな問題に高校生が答えられるのか? と疑問に思う読者がいるかもしれない。しかし、高校生の中には知識がないだけで、情報と考え方を教えれば十分に論理的・合理的な答えを導き出す生徒がいる（ときには大人以上に合理的で奇抜な答えもある）。こういった能力は通常の学力レベルとはあまり関係ない（ようにみえる）ので、生徒の考える力をはかるためには有効な手段となるかもしれない。

以下の章では、ドレイクの式について簡単に説明し（第 2 章）、その後高校生の修正について紹介する（第 3 章）。第 4 章では評価の際の注意点を述べ、最後の章でまとめを行う。

2. ドレイク方程式

天文教育普及に関わる方には釈迦に説法かもしれないが、一応ドレイク方程式について説明しておく。ドレイク方程式はアメリカの

天文学者フランク・ドレイクが 1961 年に地球外文明の数を概算する際に発表した方程式である[1, 2]。これは通信可能な文明の数 N を、6 - 7 個の独立変数で与えた方程式である。具体的な形は、

$$N = N_S f_P n_E f_L f_I f_C L / L_S$$

となっている。ここで、変数の意味はそれぞれ次の通りである。

N_S : 銀河系内に存在する生命に適した恒星の数

f_P : その恒星が惑星を持つ割合

n_E : 恒星が持つ地球型惑星の数

f_L : その惑星に生命の生まれる確率

f_I : 生まれた生命が知的に成熟するまで進化する確率

f_C : 通信手段（電波）を持つ文明の割合

L : 通信を試みる時間（文明の平均寿命）

L_S : 地球型惑星が銀河系内に存在する期間

である。

文献によっては、変数の数や意味が異なる場合があるので注意が必要である[2]。

ここで、 $N_S \times f_P \times n_E$ を生命が存在可能な地球型惑星の数 N_{HP} とし、 $f_L \times f_I \times f_C \times L / L_S$ をその惑星に交信可能な知的文明社会が発生する確率 f_C とすると、ドレイクの式は以下のよう書き直すことができる。

$$N = N_{HP} f_{IC}$$

この N_{HP} は天文学的な量なので、人類の文明が発達すれば科学的に決定できる量である。しかし f_{IC} は、人類の進化や発展、通信手段を

持つ確率などは現時点では科学的に決定することが不可能であり、人類は今までの歴史などから推測せざるを得ない。そのため、推測する人間の個人的見解による不確定要素が多い量である。また、これらの変数が互いに独立しているかは自明ではない。変数同士が複雑な関数になっていたり、微分方程式である可能性もある。これらについても考えてもらうことがねらいである。

表1 研究者によるドレイク方程式の解の違い

研究者	N_{HP}	f_L	f_I	f_C	L_S	L	N
キャメロン(1983)	1×10^{10}	1	1	0.5	3×10^9	10^6	2×10^6
ゼーガン(1963)	1×10^{11}	1	0.1	0.1	1×10^{10}	10^7	1×10^6
ルード&トレフィ ル(1981)	2×10^9	0.01	0.5	0.25	1×10^{10}	10^4	0.003
ゴールドスミス& オーウェン(1993)	2×10^{10}	0.5	0.75	1	8×10^9	10^6	1×10^6
Pシュナイダー (2002)	4×10^9	1	1	1	1×10^{10}	10^7	4×10^3

文献[1]より引用

授業ではこれらの変数の意味を説明し、表1の研究者による方程式の解の違いを挙げ、なぜ、このような見積もりの違いが生じるのか、を考察させている。ここで重要なのは、ドレイク方程式によって得られた値の大小自体はさほど意味を持たないが、多くの研究者が見積もった結果は $N > 1$ になるという点である。確かにドレイクの式は数を見積もる式であるが、大きな数や小さな数を掛け続けるので、一番精度の悪い項や不定性が大きい項によって結果が左右される。例えば、文明の平均寿命は我々の文明を参考にするならば、いつから始まるかは大体見当がついたとしても、未来のどの時点で終わるのかは誰にも分からない。また、惑星に生物が生まれる確率は、我々の地球だけをみれば、地球型惑星には必ず生命が生まれる ($f_L=1$)、という考えもあるし、実は、我々の存在は非常に稀である ($f_L < 1$) という考えも否定できない。つまり、見積もりには個人的な見解が入り込む余地がある。誰も真実を知らない量を掛け合わせる

ので到底信頼できそうな値は出てこない。しかし、多くの研究者が $N > 1$ と算出していることは注目に値する。この式を教える際にはその点を強調する必要がある。

3. 高校生による方程式の修正

本題の高校生によるドレイク方程式修正案をみてみよう。そのまま文章を羅列するとわかりづらいので、筆者は大きく3つのカテゴリーに分類した。A 天文学的・物理学的な修正 (N_{HP} に関する修正)、B 文明・文化的な修正 (f_C に関する修正)、C その他 である。あとは高校生の文章そのままを載せてある。

A 天文学・物理学的な修正

- ① 他文明から送られた信号が宇宙空間内を問題なく通過する確率を加える
- ② 通信する範囲が他の通信可能な星まで達することができる確率を加える
- ③ 惑星が地球と通信可能な距離にいる確率を加える
- ④ 惑星までの距離を考える
- ⑤ 光が届く時間を考慮に入れる

ドレイク方程式には地球から天体までの距離の項が入っていない。実際の交信には電磁波が伝わる時間を考慮に入れる必要がある(③、④、⑤)。特に、人類が通信を試みる時間と、地球外文明が通信を試みる時間は必ずしも一致していない、という指摘が多かった。これらは通信を行おうと望む確率や通信を試みる時間を見積もる際に考慮すればよいのかもしれないが、現段階では明確な形では入っていない。

①は輻射輸送に関する意見だが、確かにそのとおりである。地球に向かって進行した電磁波も星間ガスで散乱・吸収される可能性もあるので修正になる(②も含める)。

B 文明・文化的な修正

文明や文化的な側面には不確定要素が多い。多くの研究者の見積もりは人類の歴史を基に推測することになる[2, 4]が、そもそも、地球外の知的生命体も人類と同じ歴史をたどるとは限らないので、全く信用ならない量であることは最初に断っておかねばなるまい。

- ⑥ 文明の進化度を式に加える
- ⑦ 文字を使用し、独自の言語を持つまでに成長する確率
- ⑧ 文明が宇宙に進出するまでに進化する確率
- ⑨ その惑星において知的生命体が自然災害・病気で絶滅しない確率

⑥は文明の進化の度合い、進化の仕方は文明によって変わってくるはずなので、その度合いを入れるべきであるという。この主張はもっともである。進化の度合い（進化のスピード）はおそらく、文明毎に違うだろう（加速度が違う）。⑦は知的に成熟する確率や通信する技術を持つ確率に含まれる可能性もあるが、文字という法則性のある通信手段を用いるという要素は、他の文明との交信に必要なことである。⑨は文明の寿命と関わる内容であるが、自然災害で滅びる確率だから、ドレイクの式には明確な形で入っていない要素である。隕石衝突やウイルスによる生物の絶滅は十分にあり得る。

C その他

その他の意見として多かったのは、変数をまとめる案である。例えば、

- ⑩ f_i , f_c を消去し、生まれた生命が通信手段を開発するほど知的に成熟するまで進化する確率を加える。

という意見である。変数が多いと、掛け合わ

せるほど数値にばらつきが出るので、 f_i , f_i , f_c といった数値をまとめるというのは、わかる気がする。筆者は後で気がついたのだが、ただまとめるだけでは精度が変わらず、変数のどの項が不定性に寄与しているのか分からなくなる。つまり、項をまとめることは修正にならないと考えられる。

逆に、変数をさらに細分化する、という意見も多くあった。例えば、

- ⑪ f_c を「通信手段を持ち、さらにその通信手段が現在の地球上の文明のものと一致する確率」とする
- ⑫ $f(A)$ ：人類が宇宙人の電波を受け取れる確率、 $f(B)$ ：宇宙人が人類の電波を受け取れる確率、として $N=N_{HP} \times f(A) \times f(B)$ で計算
- ⑬ f_i を細分化する。水の存在する確率、大気

この辺は、より正確な f_c を求めたいという立場であるから修正案としても良いだろう。

4. 議論

これらの意見をどう評価するか、という点については注意点が2つある。

1つめは、修正案によってもととの N の意味が変わるような修正はダメである。例えば、「宇宙船を作って惑星の外に出ることが出来る確率をかける」という案では、そもそもの交信可能な知的生命体の数ではなくなってしまふ。こういった題意を無視した修正をした生徒が何人か居た。

2つめは、考え方が正しければ認めることである。この評価は非常に難しいが、⑥が良い例になるだろう。この辺の判断を適切に行うためには、教材を提供する側の人間も十分な知識と準備が必要である。

本当は先に挙げた修正案は、数値を伴った方が良いと思う。しかし、時間の関係でそういった活動はできなかった。これは反省すべき点である。また、研究者による本格的な修正を参考文献に挙げたので興味のある方は参照してほしい[4, 5, 6]。

5. おわりに

高等学校では平成 25 年の新しい学習指導要領から「生きる力」がより一層重視される（小中学校の理科は平成 21 年 4 月から）。理科という教科は、実体験を踏まえた自然現象の理解が重視されるが、こういった空想上の課題に対しても科学的に考える力を養うことは可能だろう。例えば、「新・宇宙を解く」に掲載されている課題は天文学の知識がある程度必要だが、情報の与え方によっては、高校生でも理解可能な教材になる[2]。また、これから定例化される教員免許更新講習のネタとしても使えるかもしれない。

今回、筆者が紹介した内容はすでに地学の先生が実践されているところもあるだろう。最近の惑星探査のデータを与えて、恒星が惑星を持つ割合 μ などの値を考えさせるだけでも十分な課題になる。

なによりも重要なのはこういった話題は生徒に『ウケるネタ』であることである。生徒も楽しそうに話を聞き、真面目に考えてくれる。中には授業後に「宇宙人の数を見積もる式があるなんて感動！」と言いに来た生徒もいた。地球外の文明に対して思いを馳せるだけでも話題を提供する価値はある。そこに科学的なものの考え方、というスパイスをちょっぴり加えられれば教育的にもさらに意義のあるものになるだろう。

謝 辞

この文章を査読してくださった大阪教育大学の福江純氏、金沢大学附属高等学校の西村

百恵さんに感謝いたします。

文 献

- [1] SETI Institute-Home (SETI 研究所の WEB ページ)
<http://www.seti.org/Page.aspx?pid=1241>
- [2] P.ウルムシュナイダー著 須藤靖・田中深一郎・荒深遊・杉村美佳・東悠平 訳『宇宙生物学入門』, シュプリンガー・ジャパン.
- [3] 横尾武夫編「新・宇宙を解く」恒星社
- [4] Wallenhorst, S.G. (1981) 「The Drake Equation Re-examined」, Q. Jl R. astrtr. Soc., 22 : 380-387.
- [5] Walters, C., Hoover, R.A., Kotra, R.K. (1980) 「Interstellar Colonization: A New Parameter for the Drake Equation?」, ICARUS, 41 : 193-197
- [6] Burchell, M.J. (2006) 「W(h)ither the Drake equation?」, International Journal of Astrobiology, 5:243-250

渡 會 兼 也