

## 基本原理・物理編 ★★★ 1

|                        |    |
|------------------------|----|
| 赤方偏移                   | 2  |
| (本日の料理) ナスの赤方偏移焼き      |    |
| 光の速度                   | 5  |
| (本日の料理) 中華大皿料理         |    |
| 光の粒子性と波動性              | 8  |
| (本日の料理) 網焼き風焼肉         |    |
| ウラシマ効果                 | 11 |
| (本日の料理) 新鮮な？ サンマのお刺身   |    |
| 対称性の破れ                 | 15 |
| (本日の料理) クラゲラーメン        |    |
| 質量                     | 20 |
| (本日の料理) サバの味噌煮         |    |
| 熱                      | 24 |
| (本日の料理) コメット風揚げアイスクリーム |    |
| au (天文単位)              | 28 |
| (本日の料理) 長ネギの黒焼き        |    |
| エネルギー準位                | 32 |
| (本日の料理) とびとびに飛ぶポップコーン  |    |
| ニュートリノ                 | 36 |
| (本日の料理) ニュートリノイクラ      |    |
| ニュートリノ振動               | 39 |
| (本日の料理) 飛驒牛のステーキ       |    |

## 望遠鏡・観測技術編 ★★★ 43

|                    |    |
|--------------------|----|
| 大気の揺らぎ             | 44 |
| (本日の料理) ホタルイカの踊り食い |    |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| ウェーバー・フェヒナーの法則              | 48 |
| (本日の料理) ピリ辛マーボー豆腐           |    |
| 見かけと絶対等級                    | 52 |
| (本日の料理) 蜂の子飯                |    |
| 電磁波・スペクトル                   | 55 |
| (本日の料理) <sup>あゆ</sup> 鮎の塩焼き |    |
| アルゴスの目                      | 58 |
| (本日の料理) 生ガキと白ワイン            |    |
| 赤外線                         | 63 |
| (本日の料理) カニクリームコロッケ          |    |
| ケプラー衛星                      | 66 |
| (本日の料理) だし巻きたまご             |    |
| 輝線スペクトル                     | 69 |
| (本日の料理) 骨付き鶏の唐揚げ            |    |
| T2K実験                       | 73 |
| (本日の料理) 爆速エビ団子フライ           |    |
| 宇宙線                         | 77 |
| (本日の料理) 霧箱そば                |    |
| 重力波                         | 81 |
| (本日の料理) 合体お餅                |    |
| マルチメッセンジャー天文学               | 85 |
| (本日の料理) さんまのマルチクッキング        |    |

## 太陽系編 ★★★ 89

|                        |     |
|------------------------|-----|
| スーパームーン                | 90  |
| (本日の料理) レッドムーンのヴィシソワーズ |     |
| 夏至の太陽高度                | 93  |
| (本日の料理) 牛肉と野菜のBBQ      |     |
| サマータイム                 | 97  |
| (本日の料理) 一色産うなぎの櫃まぶし    |     |
| 日食                     | 101 |
| (本日の料理) 黒い目玉焼き         |     |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 太陽エネルギー                | 105 |
| (本日の料理) ソーラークッキングパンケーキ |     |
| 微小重力                   | 109 |
| (本日の料理) ISS プレzzo コーヒー |     |
| 衛星落下                   | 112 |
| (本日の料理) 焼き芋            |     |
| 隕石                     | 116 |
| (本日の料理) 自家製ドレッシング      |     |
| しし座流星群                 | 119 |
| (本日の料理) シシ・ケバブ         |     |
| 流星塵                    | 123 |
| (本日の料理) 流星ふりかけ         |     |
| 地球近傍小惑星                | 127 |
| (本日の料理) ポップコーン         |     |
| ホームズ彗星                 | 132 |
| (本日の料理) メレンゲ核入りところてん   |     |
| アイソン彗星                 | 135 |
| (本日の料理) 一期一会の回転寿司      |     |
| 視差(太陽面通過)              | 139 |
| (本日の料理) ブルーベリーパンケーキ    |     |
| 火星                     | 143 |
| (本日の料理) 火星茶漬け          |     |
| 土星の環                   | 147 |
| (本日の料理) 極薄バウムクーヘン      |     |
| 惑星の定義                  | 151 |
| (本日の料理) プルーツマトのアイスクリーム |     |
| 太陽系                    | 155 |
| (本日の料理) ラブルパイル・チョコランチ  |     |

## 恒星・天の川銀河編 ★★★ 159

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| スペクトル型                   | 160 |
| (本日の料理) ミネストローネ&クラムチャウダー |     |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 太陽系外惑星                | 164 |
| (本日の料理) 明石だこのたこやき     |     |
| 浮遊惑星                  | 167 |
| (本日の料理) タピオカドリンク      |     |
| アルピレオ(重星と連星)          | 171 |
| (本日の料理) 二色団子          |     |
| オリオン大星雲               | 174 |
| (本日の料理) プロプリッドくず餅     |     |
| 超新星                   | 177 |
| (本日の料理) 鬼まんじゅう        |     |
| 白色矮星                  | 180 |
| (本日の料理) 幻のコーヒーと白色わい砂糖 |     |
| ローカルバブル               | 184 |
| (本日の料理) 銀河シフォンケーキ     |     |
| 星の数                   | 188 |
| (本日の料理) 星の数ほどの金平糖     |     |
| ペテルギウスの変光             | 192 |
| (本日の料理) コロナビールと目玉焼き   |     |
| 二重××連星                | 196 |
| (本日の料理) 焼きたこ焼き        |     |

## 銀河・銀河団編 ★★★ 201

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 銀河の渦状腕              | 202 |
| (本日の料理) ミルキーウェイ・ロール |     |
| ブラックホール             | 206 |
| (本日の料理) 自家製パスタ      |     |
| アンドロメダ銀河            | 211 |
| (本日の料理) ふぐづくし       |     |
| 銀河のでき方              | 215 |
| (本日の料理) NASAの銀河料理   |     |
| 銀河団                 | 218 |
| (本日の料理) ミニチュアすいか    |     |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| クエーサー              | 221 |
| (本日の料理) クエーサー・ドーナツ |     |

## 宇宙論編 ★★★ 225

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 膨張宇宙論                           | 226 |
| (本日の料理) 青大豆もち                   |     |
| 宇宙の年齢                           | 230 |
| (本日の料理) 梅茶漬け                    |     |
| ハッブル・ルメートルの法則                   | 234 |
| (本日の料理) 金時豆入りのキンピラごぼう           |     |
| 「ダーク」                           | 238 |
| (本日の料理) いかすみのスパゲッティ             |     |
| ダークマター                          | 242 |
| (本日の料理) ダークマターまん                |     |
| 冷たいダークマター (CDM)                 | 245 |
| (本日の料理) タピオカ風ダークマター・スムージー       |     |
| ダークエネルギー                        | 249 |
| (本日の料理) クイントエッセンス入りパンケーキ        |     |
| 宇宙背景放射                          | 252 |
| (本日の料理) 黒体 <sup>てくたい</sup> やきいも |     |
| マルチバース                          | 255 |
| (本日の料理) マルチ <sup>ナーベ</sup> 鍋    |     |
| 原始重力波                           | 259 |
| (本日の料理) わらび餅                    |     |
| 重力波の偏光                          | 262 |
| (本日の料理) ふきとなるのお吸い物              |     |

参考文献



## 赤方偏移

いらっしゃいませ。本日より開店いたしました宇宙料理店へようこそ。

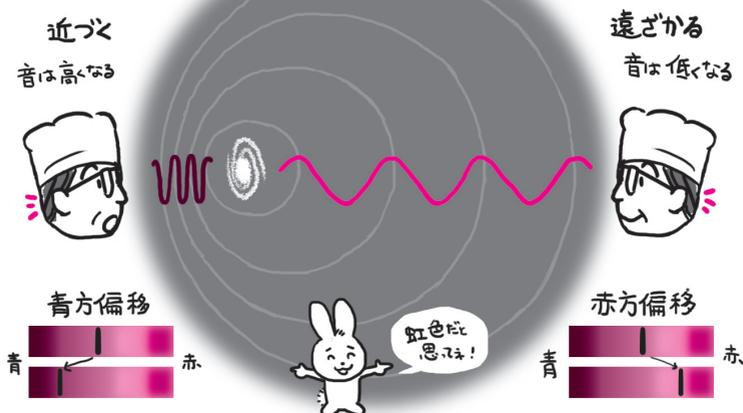
私、シェフのDr.Nodaでございます。宇宙の話の中にはブラックホールやダークマターといった耳慣れない言葉や、不思議な現象が出てくることがあります。宇宙をおいしく味わっていただくためにそんな素材を口あたり良くご紹介するのが、当店のモットーでございます。今後ともごひいきにお願いいたします。

ところで、今、表を救急車が走っていきましたね。近づいてくるときには高く聞こえていたサイレンの音が、遠ざかっていくときには低く聞こえることに気がつきませんでしたか？ この現象は1842年にオーストリアの物理学者ドップラーが発見したので、ドップラー効果と呼ばれています。

音は空気の波（空気の振動）として伝わります。波の山と山との間隔を波長と呼びますが、その間隔がせまい（波長が短い）と、その音は高く聞こえます。逆に波長が長いと、私たちには音が低いと感じます。

さて、音を出しながら音源（たとえば救急車）が動いているとき、音の波は音源の進む方向に押し縮められます。そこで、音源が近づいてくるときには、音の波長が短くなり、高い音に聞こえます。反対に、遠ざかっていくときには、音の波の間隔が引きのばされるので波長が長くなり、今度は、音が低くなったように聞こえるのです。

これは音だけではなく、1つの点から広がる波のすべてにおこる現象です。たとえば野球でピッチャーの球速を測るスピードガンは、電波のドップラー効果を利用しています。

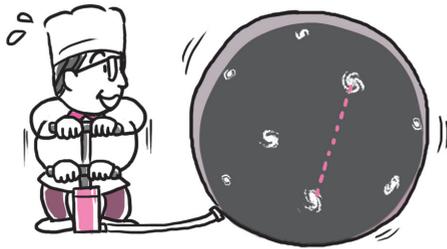
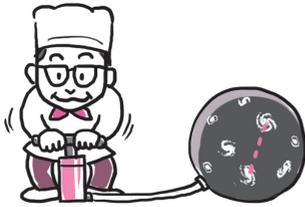


★ドップラー効果。

波源が近づく側は波の間隔が狭くなり、遠ざかる側は波の間隔が広がる。

スピードガンからは電波が出ていて、その波は投げられたボールにあたりはねかえってきます。はねかえってきた電波の波長は、ドップラー効果によって短い方へズレます。この波長のズレを測定することによって、ボールのスピードを知ることができるのです。ただしこの方法で測れる速度は、自分に向かってくる方向か、遠ざかっていく方向だけだということに注意して下さい。そこで、正確に球速を測るためには、バックネット裏でスピードガンを構えなければなりません。

天体からの光や電波も電磁波と呼ばれる波ですから、やはりドップラー効果を受けます。音は高さが変わりますが、光の場合はその色が変わります。光は、波長が短いと青っぽく見え、波長が長いと赤っぽく見えます。ある天体が地球に近づいているときは、ドップラー効果によって光の波長が短くなるので、その天体から出る光は青色の方へズレて見えます（青方偏移）。逆に遠ざかっている場合には、光の波長が長くなって赤色の方へズレます（赤方偏移）。こうして、天体の色を観測するだけで、その天体が地球に近づいているのか、遠ざかっているのか、その速度はどれくらいかが分かるのです。



### 膨張中の宇宙 ~!?

★膨張する宇宙のイメージ。風船を膨らますと、表面に描かれた銀河と銀河の間の距離は広がっていく。これを一つの銀河から眺めると、すべての銀河が自分を中心に遠ざかっていく（遠いものほどより早く遠ざかる）ように見える。

1910年代にアメリカの天文学者スライファーは、銀河からの光の多くが赤色の方にズレていることを見つけ、これをドップラー効果による赤方偏移だと考えました。つまり多くの銀河が私たちから遠ざかっているということです。この観測を発展させて、アメリカのエドウィン・ハッブルは、1929年に遠くの銀河ほどより速く遠ざかっていることを見出しました。この発見は現在ではハッブル・ルメートルの法則<sup>\*1</sup>と呼ばれ、宇宙が膨張していることの有力な証拠のひとつとなっています。

おっと、おしゃべりが長くなってしまいました。本日のおす

すめはナスの赤方偏移焼きです。入荷したばかりの青紫色によくうれたナスを、光速の40%で私たちから遠ざかるように放り投げて焼いてみました。赤方偏移グリルでこんがり焼きますと、真っ赤な完熟トマト焼きとしてご賞味いただけます。

(1999年5月)

\*1 2019年まではハッブルにちなんで「ハッブルの法則」と呼ばれていましたが、ベルギーのジョルジュ・ルメートルの貢献も再評価され、これからは「ハッブル・ルメートルの法則」と呼ぶことが推奨されています。詳しくはP234をご参照下さい。



## 光の速度

いらっしゃいませ。宇宙料理店でございます。

先日ちょっと店内を改装いたしましたので、照明を換えてみました。食材の自然な色合いをより楽しんでいただけるようにと思ったのですが、いかがでしょうか。

私たちは毎日便利に電気や光を使って生活していますが、光って結構不思議なものですよね。たとえば、光の速度は秒速30万km、1秒間に地球を7周半回ってしまうほど速いと言いますが、そんな速度を誰がどのようにして測ったかご存知ですか？

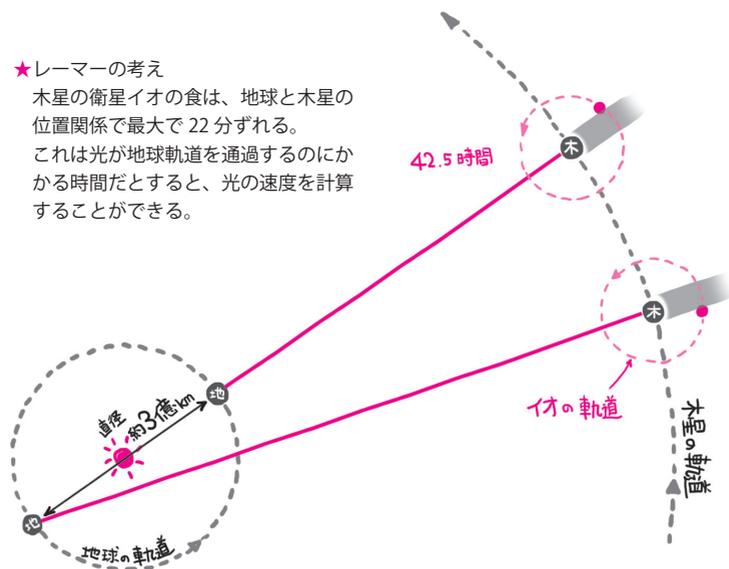
光の速さを最初に測ろうとしたのは、あのガリレオ・ガリレイです。1610年にガリレオは、覆いをかぶせたカンテラを持った二人の人物を数km離して立たせて、一方の人が覆いはずして光を送り、もう一方の人は相手の光を見たら覆いを外して光を送り返すことにして、最初に光を送ってから相手の光を見る時間差で光の速さを測ろうとしました。しかし二人をいくら遠ざけても結果は同じでした。光が1秒間に地球を7周半回ってしまうことを知っている私たちからすれば当然のことで、いくら地球上で離れても、結局、人の反応速度を測っているにすぎないことになり、この実験は失敗に終わりました。

光の速さを最初に求めたのは、デンマークの天文学者レーマーです。1675年パリ天文台にいたレーマーは、木星の衛星イオの食と食の間隔が、地球が木星の軌道に近づいているときは早くなり、逆に木星の軌道から遠ざかっているときには遅れることを見いだしました。これを有限な速度の光が達する時間が、地球と木星の距離の違いによって変化するためだと考え、光速度として秒

★レーマーの考え

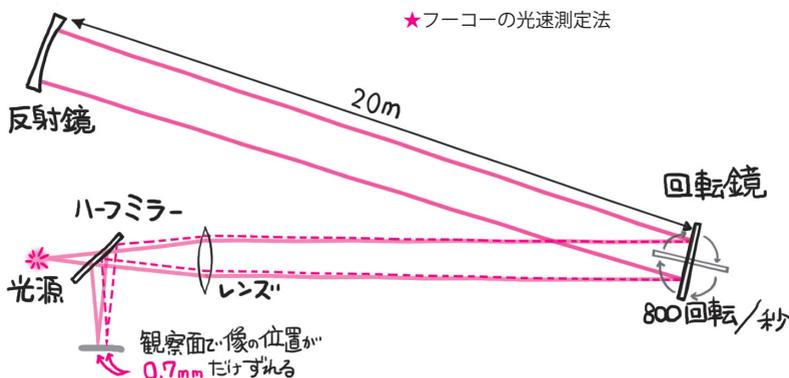
木星の衛星イオの食は、地球と木星の位置関係で最大で22分ずれる。

これは光が地球軌道を通ずるのにかかる時間だとすると、光の速度を計算することができる。



速21.1万kmという値を求めました。この値は現在知られている光速の7割ぐらいで正確ではありません。しかし、今から300年以上も前に現象を正しく理解し、ケタが合った測定をしたことだけでも素晴らしいことです。当時は光の速度は無限大という考え方が当たり前でしたので、レーマーは同時代の人達に認められないままに亡くなりました。時代を先取りするものは、いつの時代にあっても不遇です。

地上での光の速度の測定は、1849年フランスのフィゾーによって実現しました。彼は遠方に鏡を置き、光が反射して返ってくる通りに回転歯車を用意して、歯車をだんだんと速く回していきました。歯車の凹部から出ていった光が返ってくる間に歯車の歯の半周期分だけ回ると光は歯車の凸部に当たって見えなくなります。この明るさの変化を利用して、秒速31.3万kmという値を求めています。この実験をさらに改良したのがフィゾーの助手をしていたフランスのフォーコーです。彼は回転歯車のかわりに回転鏡を使いました。鏡の間を光が往復している間に回転鏡が回っているので、それに従って像の位置がずれます。フォーコーは20m先に鏡を置き、回転鏡を1秒間に800回転させることによって、0.7mmだけ像の位置がずれることを確認しました。これにより、秒



速29.8万kmを求めたのです。

その後、マイケルソンたちによって測定法が改良されたり、20世紀になって電波技術やレーザーを応用した別の方法による測定も行われて、秒速1m以下の精度での光速の測定が可能となり、現在では秒速29万9792.458kmという値が採用されています。

相対性理論によって長さや時間は座標系の取り方で伸び縮みする事がわかりましたが、光の速度は不変です。そんなこともあって、1983年の国際度量衡総会で光が1mという長さの定義に使われることになりました。すなわち、1/299 792 458秒の間に光が真空中を伝わる行程の長さを1mと定義したのです。私たちが普段何気なく使っているメートルやキロメートルという長さは、実は光の速度から決められているのです。

そこで今回は中華の大皿料理をご用意いたしました。中華といえば中央の回転テーブル。普段はテーブルを手で回してお好みの料理を取っていただくわけですが、今回はフーコーの実験にちなんで回転テーブルを電動にして1秒間800回転まで上げてみたいと思います。直径1メートルのテーブルの端は秒速2.5kmで回りますので、箸でお取りいただくには、かなりの運動神経が必要です。それ以前に遠心力で食材が飛ばされる危険性がありますので、十分ご注意くださいながら、ゆっくりとお召し上がり下さい。

(2000年7月)