

(1.23) 式を,

$$\mathbf{F}_{21} = -G \frac{mM}{r^2} \cdot \frac{\mathbf{r}_{21}}{r} \quad (1.24)$$

とベクトルで表現しよう。ここで、 $\mathbf{F}_{21}$  は大きさが  $F_{21}$  で、質点2から質点1へ向かう向きを正とするベクトルである。また、 $\frac{\mathbf{r}_{21}}{r}$  は大きさが1で、質点2から質点1へ向かう向きを持つベクトルを表している。負号は、力が引力であるために  $\mathbf{F}_{21}$  と  $\mathbf{r}_{21}$  が逆向きであることを表している。作用・反作用の法則によれば、質点2にはたらく万有引力もまったく同じ大きさと向きが逆である。すなわち、

$$\mathbf{F}_{12} = -G \frac{mM}{r^2} \cdot \frac{\mathbf{r}_{12}}{r} \quad (1.25)$$

ここで  $\mathbf{r}_{12} = -\mathbf{r}_{21}$ ,  $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$  である。

#### 例題1.5 万有引力の大きさ

質量 50 kg の人と質量 20 kg の人が 2.0 m 離れて立っている。この2人の中で互いに及ぼし合う万有引力の大きさは何 N か。また、この2人が 1.0 m まで近づいたとき、万有引力の大きさは最初の何倍になるか。

**解** (1.23) 式から、

$$F = 6.7 \times 10^{-11} \times \frac{50 \times 20}{2.0^2} = \underline{1.7 \times 10^{-8}} \text{ N}$$

このように小さな力は、測定が非常に難しい。万有引力の大きさが、重力程度に大きくなるためには、片方の質量が地球程度に大きくなければならない。

2人の距離が  $\frac{1}{2}$  になると、万有引力の大きさは 4 倍になる。 ■

## 1.8 重力加速度

地球が物体に及ぼす万有引力を、通常、**重力**と呼ぶ（他の天体の重力と区別する必要があるときには地球の重力と呼ぶ<sup>3)</sup>）。重力は地球の中心に向かう向き（すなわち、地面に向かって鉛直下方）なので、ここでは力の大きさだけに注目する。地球の半径を  $R_E = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ 、地球の質量を  $M_E$

$= 6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ 、質点の質量を  $m \text{ [kg]}$  とすると、(1.23) 式から地球の表面近くでの万有引力の大きさは、

$$F = 6.7 \times 10^{-11} \times \frac{m \times 6.0 \times 10^{24}}{(6.4 \times 10^6)^2} \doteq 9.8 \times m \quad (1.26)$$

と求められる。

ニュートンは、りんごが地面に向かって落ちるのは、りんごに重力がはたらくためであるとした。りんごの質量が 0.1 kg だとすると、りんごが受ける重力の大きさは  $9.8 \times 0.1 = 0.98 \text{ N}$  になる。私たちは日常的に力を感じているが、1 N の大きさの力がどのくらいのものであるかを感じるのには難しい。やや小さめのりんご1個を手のひらにのせて持つとき、りんごを支えている力がおおよそ 1 N である。

(1.24) 式と (1.25) 式の関係から、りんごは地球から受けている重力と同じ大きさと地球に引力を及ぼしている。一見不思議に思えるが、この事実を認識しておくことは重要である。地球がりんごを引く重力とりんごが地球を引く引力は大きさが同じで、向きが逆である。

りんごの落下運動について考察しよう。落下は鉛直下向きに起こるから、鉛直下向きに1次元の座標を設定すると、力と加速度は、それぞれ  $F$  と  $a$  を用いて表現できる。りんごの質量を  $m$  とすると、運動の法則 (1.22) 式より、右辺の重力  $F$  は  $F = 9.8 \times m$  であるから、

$$ma = 9.8 \times m \quad (1.27)$$

となる。つまり、

$$a = 9.8 \text{ m/s}^2 \quad (1.28)$$

である。一般的に、この関係式は質点の落下運動について次の重要な意味を示している。すなわち、(1.27) 式の数値 9.8 は重力による落下運動の加速度である。また、(1.27) 式から導かれる (1.28) 式は、この加速度が質点の質量  $m$  には無関係であることを示している。この加速度を**重力加速度**と呼び、 $g$  と表す。

(1.26) 式の計算では地球の半径を用いたので、 $g$  の値は地球表面での重力加速度の大きさを表している。地上からの高度が大きくなれば、重力加速度の大きさは小さくなっていく。地球の半径  $R_E = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$  に対して、りんごの落下のように地表付近で起こる重力による運動は、せいぜい数 m、

3) 地球が自転していることによる遠心力の影響は小さいので、ここでは無視した。