

5 直進・反射・屈折の起こる理由

5.1 光の現象に関する歴史

～300 BC Alexandria の Euclid (ユークリッド) が著書 *Optica* に光の直進・反射の法則を記述する。

1621 Leiden の Willebrord Snellius (ヴィレブロルト・スネル) が光の屈折の法則を発見する。

1657 France の Pierre de Fermat (ピエール・ド・フェルマー) が、光は進むのにかかる時間が最小になる経路を通るという原理 (フェルマーの原理) を発表する。

1676 Denmark の Olaf Römer (オーレ・レーマー) が、木星の衛星のイオの食が早まる変動は木星から地球に光が到達する時間の差によるものだとして、光速を計算する (メートル法に直すと 214300 km/s)。

1849 France の Armand Hippolyte Louis Fizeau (アルマン・イッポリート・ルイ・フィゾー) が、天文学を使わない方法で初めて光速を測定する (313300 km/s)。

1849 France の Jean Bernard Léon Foucault (ジャン・ベルナール・レオン・フーコー) が空気中での光速を測定する (298000 km/s)。また、水中の光速が空気中の光速よりも遅いことを見つける。

5.2 真空中の光の速さ

今では、いろいろな測定方法が工夫され、非常に高い精度で光速が測定できるようになった。同時に、真空中においては光の速さは変わらない*¹ことが分かってきた。そこで現在では、真空中の光の速さを 2.99792458×10^8 m/s (約 km/s) と定義し、これを基準にして長さの単位を決めている*²。毎回数字を書いているのも面倒なので、光の速さは記号 c で表すことが多い*³。

*¹ 真空中でなければ、色によって光の速さは変わるので注意しよう。「真空中においては光の速さは変わらない」をもう少し正確に言うと、「真空中の光の速さは光源の運動状態に無関係に一定である」となる。これを光速不変の原理とよぶ。興味のある人は Michelson-Morley (マイケルソン・モーレー、マイケルソン・モーリー) の実験についても調べてみよう。

*² The metre is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval of $1/299792458$ of a second. (BIPM. Unit of length (metre). SI brochure, Section 2.1.1.1. BIPM. Retrieved on 2007-11-28.)

*³ ラテン語で速さを意味する *celeritas* の頭文字からとった。

5.3 物体中の光の速さ

一般に、物体中では光の速さは遅くなる。屈折率を用いると、物体中の光の速さは

$$\text{物体中の光の速さ} = \frac{\text{の光の速さ}}{\text{(真空に対する)物体の}} \quad (5.3.1)$$

と表されることが知られている*4。この知識は、これからの話をするときを使うので認めてほしい。

5.4 Fermat (フェルマー) の原理

原理 5.1 Fermat (フェルマー) の原理とは、乱暴に言うと

光は だ

という原理のこと。もう少し丁寧に言うと

光は同じ距離を が になるように進む

という原理のこと*5。以後、光ではなく人間の例で考えよう。

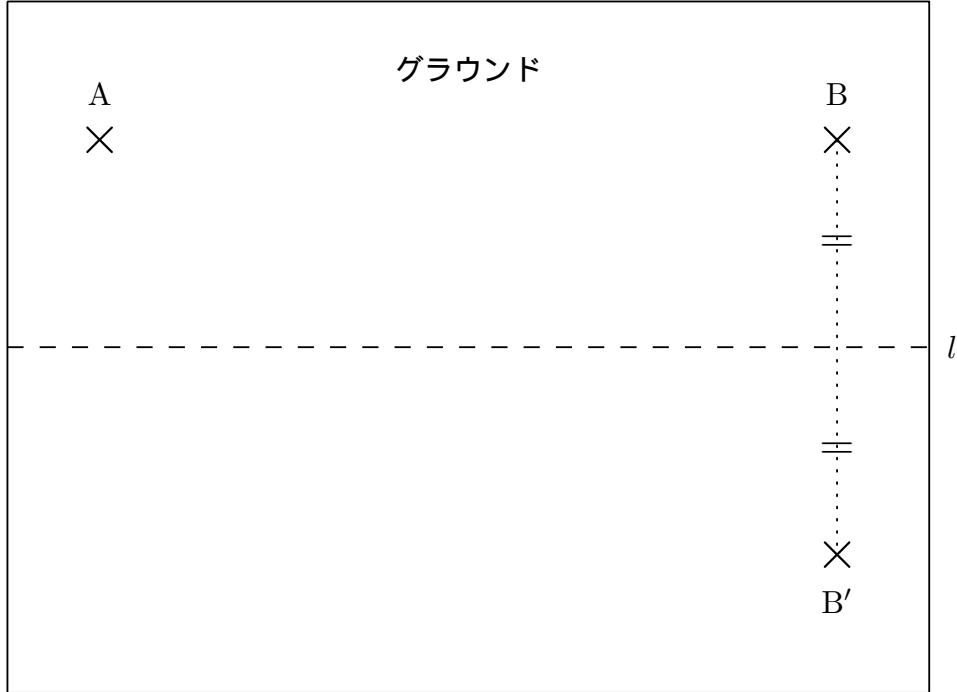
中 2 のみんなの体育の例 1 A から B まで一番早く走るには？



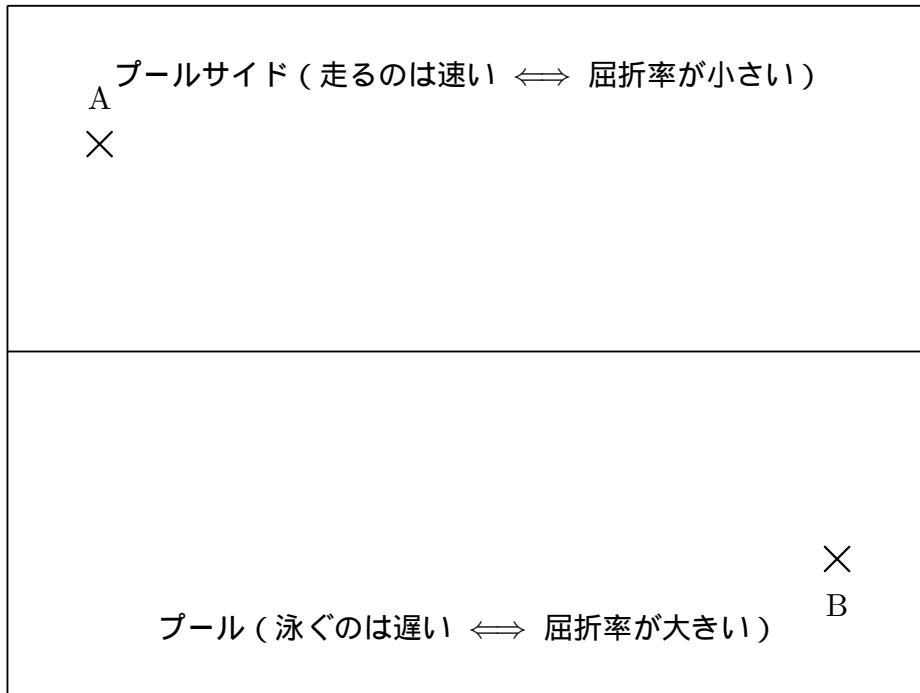
*4 たいていの文部科学省検定済教科書（高等学校理科用）では、この式が屈折率の定義となっている。

*5 さらに正確に言うと、「所要時間が連続的に変化する経路の中で、時間が極小になる経路が選択される」という原理のこと。「最小」と「極小」は厳密には異なるが、今は同じものだと思ってよい。

中2のみんなの体育の例2 A から B' (B の鏡写し) まで一番早く走るには？



中2のみんなの体育の例3 A から B まで一番早く走る & 泳ぐには？



これらは光の直進・反射・屈折の図と

実際に図 1 の条件（各道の速さの比は「空気中の光の速さ」と「水中の光の速さ」の比と同じ）のときに長さ x [m] と時間 t [s]^{*6} の関係を計算してみると、表 1、図 2 のようになる。

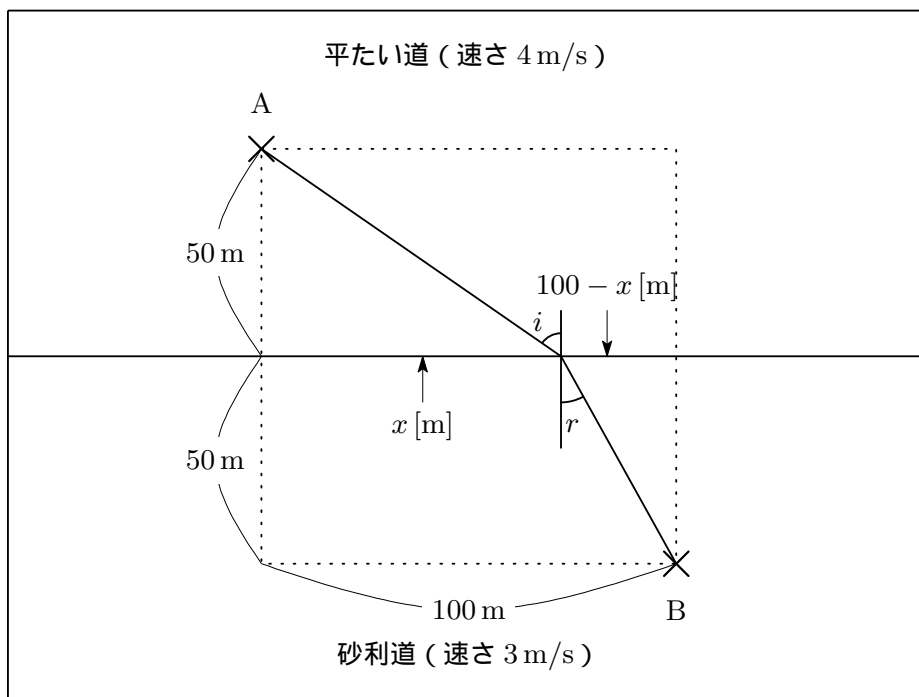


図 1 歩く道の条件

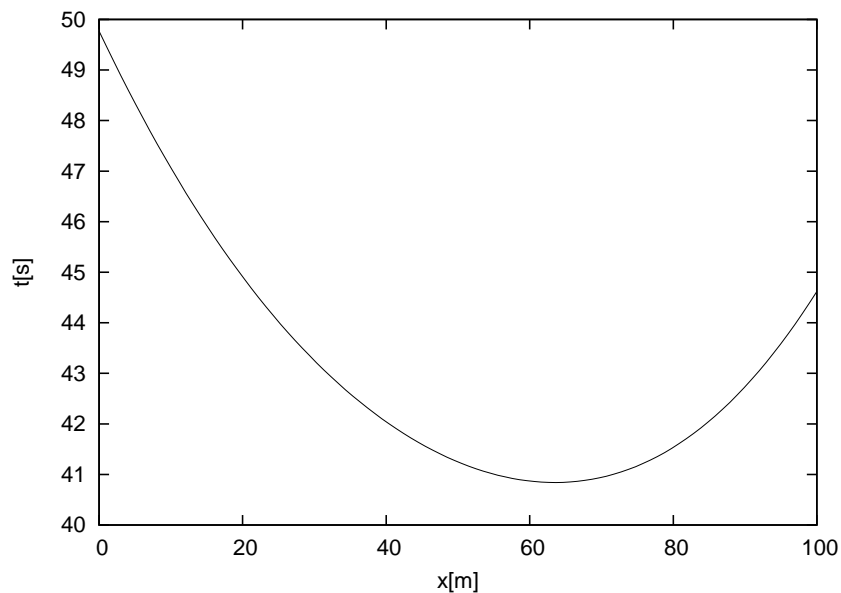


図 2 長さ x [m] と時間 t [s] の関係

^{*6} s は秒 (second) の略である。

表 1 長さ x [m] と時間 t [s] の関係

x [m]	t [s]	x [m]	t [s]	x [m]	t [s]	x [m]	t [s]
1	49.4725	26	43.8585	51	41.1910	76	41.2304
2	49.1827	27	43.7000	52	41.1383	77	41.2978
3	48.8986	28	43.5460	53	41.0898	78	41.3711
4	48.6201	29	43.3967	54	41.0454	79	41.4503
5	48.3472	30	43.2518	55	41.0053	80	41.5355
6	48.0799	31	43.1114	56	40.9694	81	41.6268
7	47.8182	32	42.9754	57	40.9379	82	41.7242
8	47.5620	33	42.8438	58	40.9106	83	41.8279
9	47.3114	34	42.7165	59	40.8878	84	41.9379
10	47.0663	35	42.5936	60	40.8694	85	42.0544
11	46.8267	36	42.4748	61	40.8554	86	42.1773
12	46.5925	37	42.3604	62	40.8461	87	42.3069
13	46.3637	38	42.2501	63	40.8413	88	42.4431
14	46.1403	39	42.1439	64	40.8412	89	42.5861
15	45.9222	40	42.0420	65	40.8458	90	42.7358
16	45.7093	41	41.9441	66	40.8552	91	42.8924
17	45.5017	42	41.8504	67	40.8695	92	43.0559
18	45.2992	43	41.7608	68	40.8887	93	43.2264
19	45.1018	44	41.6753	69	40.9130	94	43.4039
20	44.9095	45	41.5938	70	40.9423	95	43.5884
21	44.7222	46	41.5164	71	40.9769	96	43.7800
22	44.5398	47	41.4432	72	41.0167	97	43.9787
23	44.3623	48	41.3740	73	41.0618	98	44.1845
24	44.1896	49	41.3089	74	41.1125	99	44.3975
25	44.0217	50	41.2479	75	41.1686	100	44.6175

これを見れば分かるように、長さ $x \approx 64$ m のときに時間 t [s] は最小になっている。このとき、平たい道に対する砂利道の（仮想的な）屈折率は $n = \sin i / \sin r \approx 1.3486 \dots$ で、水の屈折率（約 $4/3$ ）に近い値をとる。

光の屈折とその関連

5 直進・反射・屈折の起こる理由

—MEMO—