

Spaces Whose All Non-empty Clopen Subspaces
Are Homeomorphic

横浜国大工 寺田敏司 (Toshiji Terada)

1. Introduction. 空間はすべて Tyconoff を仮定する。空間 X の任意の 2 点 x, y に対して $f(x) = y$ を満たす X 上の同相写像 f が存在するとき、 X は homogeneous であるという。また、零次元空間 X の任意の開かつ閉集合が X 全体と同相であるとき、 X は h -homogeneous であると呼ばれる。第 1 可算公理を満たす零次元空間 X が h -homogeneous ならば、 X は homogeneous である [2]。
 h -homogeneous 空間の例として、Cantor 集合 C 、有理数全体 Q 、無理数全体 P 、Sorgenfrey line、 ω の Stone-Čech コンパクト化の剰余 $\beta\omega - \omega$ などがある。

最近 Balcar と Dow は、extremally disconnected なコンパクト無限空間 X に対して力学系 (X, Hom) が minimal である必要十分条件として X が h -homogeneous となることを示した [1]。また、ブール代数 B の任意の零でない要素 a に対して $B \setminus a$ が B 全体と同型であるとき、 B は (ブール代数として) homogeneous である

と呼ばれる。零次元空間 X に対して X の開かつ閉集合全体が作るブール代数を $\text{Clop}(X)$ と表すとき、 X がコンパクトならば、 X の h -homogeneous性と $\text{Clop}(X)$ の homogeneous性ととは同値である。従って、コンパクト h -homogeneous 空間の研究は homogeneous ブール代数の研究に対応している。homogeneous ブール代数についての結果については [3] を参照されたい。ここでは、主にコンパクトでない h -homogeneous 空間について考える。

2. First countable h -homogeneous spaces. この節では、Motorov [4], [5] によって得られた結果を紹介する。

2.1. 補題. 空間 X の点 p と空間 Y の点 q に対して、 X 及び Y の開かつ閉集合による列 $\{U_n : n \in \omega\}$ と $\{V_n : n \in \omega\}$ が存在して次の条件を満たすとする。

(a) 各 n に対して U_n と V_n は同相である。

(b) $X - \{p\} = \bigcup \{U_n : n \in \omega\}$, $Y - \{q\} = \bigcup \{V_n : n \in \omega\}$

(c) $\{\bigcup \{U_n : n \geq k\} \setminus \{p\} : k \in \omega\}$ は p の近傍基底をなし、

$\{\bigcup \{V_n : n \geq k\} \setminus \{q\} : k \in \omega\}$ は q の近傍基底をなす。

このとき、 $f(p) = q$ を満たす X から Y 上への同相写像が存在する。

上の補題において、条件 (a) だけ満たされているとき、 $X - \{p\}$ と $Y - \{q\}$ の間に同相写像が存在することは明きらかである。

2.2. 定理 (Motorov). 第 1 可算公理を満たす零次元空間 X が X と同相な開かつ閉集合からなる π -base を持つならば、 X は h -homogeneous である。

2.3. 系 (Motorov). 第 1 可算公理を満たす零次元空間 X が孤立点を稠密に含むならば、可算積 X^ω は h -homogeneous 従って homogeneous である。

3. Non-pseudocompact h -homogeneous spaces. 前節の Motorov の結果は、第 1 可算公理のかわりに non-pseudocompact という条件を与えても成立する。すなわち、

3.1. 定理. Non-pseudocompact 零次元空間 X が X と同相である開かつ閉集合からなる π -base を持つならば、 X^ω は h -homogeneous である。

3.2. 系. 空間 Y は non-pseudocompact 零次元で孤立点を稠密に含むとする。このとき、任意の κ に対して Y^κ は h-homogeneous である。

一般に、h-homogeneous 空間の積について次が成り立つ。

3.3. 定理. h-homogeneous 空間の族 $\{Y_\lambda : \lambda \in \Lambda\}$ の直積を X とする。 X が compact または non-pseudocompact ならば X も h-homogeneous である。

4. X^ω の homogeneity と open continuous image. 第1可算を満たす任意の零次元空間 X に対して、 X^ω が homogeneous になるかという未解決問題がある。第1可算公理を満たす h-homogeneous 空間は homogeneous であることを考えると、次の問題が出てくる。

問題. 第1可算公理を満たす任意の零次元空間 X に対して、 X^ω は h-homogeneous か?

もし、この問題の答えが "yes" ならば、次の命題が成り立つことになる。

命題. 第1可算公理を満たす零次元空間 X の空でない任意の開かつ閉集合は X^ω の開連続写像による像となる。

いま、有理数全体の空間 Q と無理数全体の空間 P を考えると有限の n に対しては $(Q \oplus P)^n$ から Q 上への開連続写像は存在しない。

4.1. 定理. 上の命題は真である。

この定理は次の定理から簡単に得られる。

4.2. 定理. 空間 X が次の条件を満たす2つの閉集合 A, B の和として表されるものとする。

(1) $A \cap B$ は1点だけからなる。この点を p で表す。

(2) A において p は開かつ閉集合からなる強い意味で減少する可算近傍基底 $\{U_i : i \in \omega\}$ をもつ。

このとき、 X^ω から A 上への開連続写像が存在する。

証明. $U_0 = A$ としてよい。また $F_0 = B$, $F_i = U_{i-1} - U_i$ により X の開かつ閉集合の列を定める。そこで、写像 $f : X^\omega \rightarrow A$ を

次のようにとる。 X^ω の各点 $\langle x_i \rangle$ に対して、

(a) 任意の i に対して $x_i \in F_{i+1}$ のとき $f(\langle x_i \rangle) = p$.

(b) $x_i \in F_{i+1}$ となる i が存在するとき $f(\langle x_i \rangle) = x_k$,

ここで $k = \min\{ i : x_i \in F_{i+1} \}$.

上の定理において可算近傍基底をもつ点の存在は本質的である。

4.3. 定理. 零次元空間 X に対して次は同値である。

(1) X は可算近傍基底をもつ点を含む。

(2) 任意の空間 Y に対して X は $(X \oplus Y)^\omega$ の開連続像である。

定理 4.2 において条件を加えると次が得られる。

4.4. 定理. 定理 4.2 の前提条件 (1), (2) に次の条件を加える。

(3) $F_1 = A - U_1$, $F_i = U_{i-1} - U_i$ ($i \geq 2$) はすべて同相である。

このとき、 $A \times X^\omega$ は X^ω と同相である。

4.5. 系. 空間 X の開かつ閉集合 A が h -homogeneous で可算近傍基底をもつ点を含むならば、 $A \times X^\omega$ は X^ω と同相である。

定理 2.2 の Motorov の結果は、第1可算性の条件を少し弱くし

て、可算近傍基底をもつ点が稠密に存在するとしても成り立つ。このことと上の定理から次が得られる。

4.6. 定理. 零次元空間 X の空でない任意の開集合の中に h -homogeneous な空でない開かつ閉集合と可算近傍基底をもつ点が存在するとき、 X^ω は h -homogeneous である。

4.7. 系. 第1可算公理を満たす零次元空間 X の空でない任意の開集合が h -homogeneous である空でない開かつ閉集合を含むならば、 X^ω は homogeneous である。

たとえば、 $\{X_\alpha : \alpha \in \Lambda\}$ が第1可算公理を満たす h -homogeneous 空間の族とすれば、この族の位相和の可算積は homogeneous ある。特に、 $(Q \oplus P)^\omega$ が homogeneous となることが示せる。

参考文献

- [1] B. Balcar and A. Dow, Dynamical systems on compact extremally disconnected spaces, Top. and its Appl. 41 (1991), 41-56.

- [2] E.K.van Douwen, A compact space with a measure that knows which sets are homeomorphic, Adv. Math. 52 (1984), 1-33.
- [3] S.Koppelberg, Handbook of Boolean algebras, vol.1 (1989), North-Holland.
- [4] D.B.Motorov, Homogeneity and π -networks, Vest. Moskov Univ. Mat. 44 (6) (1989), 31-34.
- [5] ———, Zero-dimensional and linearly ordered bi-compacta: properties of homogeneity type, Russ. Math. Surveys 44 (6) (1989), 190-191.
- [6] T.Terada, Spaces whose all nonempty clopen subspaces are homeomorphic, Yokohama Math.J. (to appear)