

水中及び砂内の流体観察・流量測定

ダワァ ガンバット*・香川 光**・松岡 太陽***

Observations and Measurement of Water Movement in Sand

Ganbat DAVAA*, Hikaru KAGAWA** and Taiyo MATSUOKA***

Abstract

We are aiming at highly productive ways for superior quality vegetable crops raised at low cost. In growing the vegetable crops, the water movement around the roots is a matter of deep interest. The present experimental work deals with the behavioral pattern of water flowing through soil. We have examined how water flows through mediums like water and sand. First under the monitored condition, we checked the movement of colored water inside different sized water filled aquariums (360,000 mm³ – 1,500,000 mm³). Also we have measured the rate of water discharge for wet and dry quartz sand of grain grade 4. The recharge rates were 20 ml/min, 25 ml/min and 30 ml/min for both water and sand mediums.

It was seen for the water medium that, as the aquarium size becomes bigger the water spreading behavior greatly depends on the recharge flow rate whilst for smaller sized aquariums, the colored water spread throughout the aquarium. For quartz sand mediums it was found that the flow rate is higher at closer portions to the center where the water recharging took place.

1. 緒言

バラ、トマト、キュウリ等の農産物の農業生産性を維持しつつ、暖房経費を節減する方法の一つに、温室内の気温を低めに設定し、地温を部分的に高める技術が知られている。慣行加温では、温室の真ん中か両側に加温機（暖房システム）が設置されている。この場合、熱は温室の全体に広がり熱の損失が大きい。しかし、局所加温では必要な所だけを温めるから熱の損失は慣行加温より少ない。

ところが、品種ごとの最適気温、地温の温度などについて、実用化に向けた研究は進んでいない。

必要な所だけを温める方法を利用して農産物を作

るためには培地や土壌内の水の流れを調べる必要がある。

植物は、その生命活動に必要な物質を光合成によって自ら生成する。その原料は水と二酸化炭素と光であるが、自由に移動できない植物にとって水の確保が最も重要でかつ難しいといえる。なぜならば、水はその存在が局所的であり、かつ、存在量も不変ではない [1]。

本研究室では、省エネルギーで高品質の農作物を低コストで生産することを目的として研究を行っている。培地や土壌の構成は石の大きさや砂の量、そして場所によって異なるがすべての土には砂が入っている。この点から乾燥珪砂を用いて砂内での水の

* 弓削商船高等専門学校電子機械工学科

** 三菱電機姫路製作所

*** 帝人株式会社松山事業所

動き・流量について実験的に求めることにした。

本研究の最終目的は、水中及び砂内での水の動き・流量を実験的に明らかにすることである。その最初のステップとして、容器に水を溜めて水の動きを観察する実験と、砂内を通る水の流量を測定する実験を行った。

2. 実験1

砂内での水の動きを把握するのにあたって、砂内での水の動きは目で見る事が出来ないため、まず、水中での水の動きについて観察することにした。その動きを掴むため、着色水を用いて実験を行った。

2.1 実験装置

実験に用いる容器の形状は図1に示す。サイズの異なる4種類の直方体を作製した。作製した直方体容器の実物を図2に、そのサイズを表1に示す。

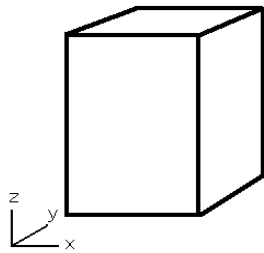


図1. 容器の形状

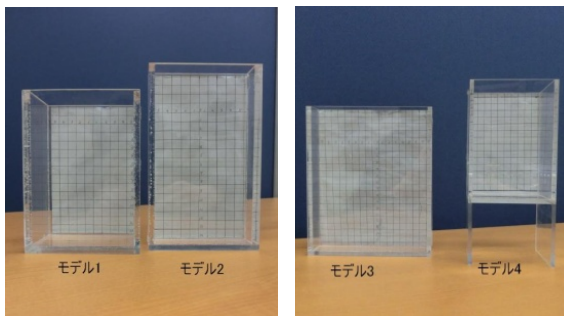


図2. 容器のモデル

表1. 容器のサイズ

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	体積 (mm ³)
モデル1	100	50	150	750000
モデル2	100	20	180	360000
モデル3	160	40	200	1280000
モデル4	100	100	150	1500000

2.2 実験方法

容器に水を溜め、着色水を入れる。流速は 20 ml/min、25 ml/min、30 ml/min で実験を行い、着色水の動きを観察した。着色剤としてメチレンブルー (methylene blue) を使い落す水に色を付けた。

2.3 実験結果

実験はすべてのモデルで行ったが、ここではモデル3の容器で行った実験の様子を例として図3～図17に示す。

図3～図7の写真より、実験開始4秒後までは縦に広がっていることがわかる。また、6秒後の写真では容器の底に達して、8秒後の写真では容器の底

(1) 流速 20 ml/min の場合

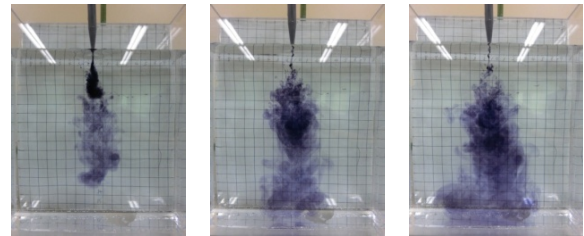


図3. 2秒後

図4. 4秒後

図5. 6秒後

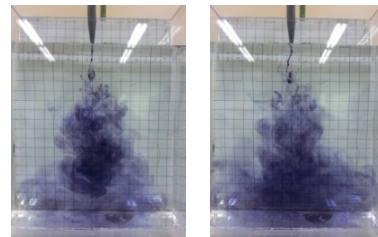


図6. 8秒後

図7. 10秒後

(2) 流速 25 ml/min の場合

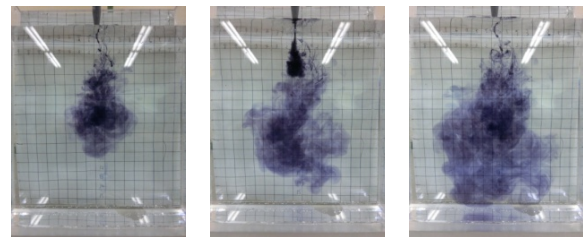


図8. 2秒後

図9. 4秒後

図10. 6秒後

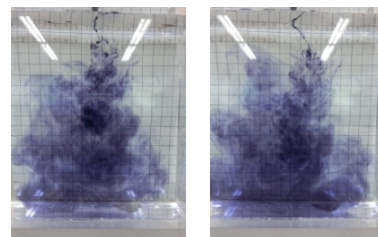


図11. 8秒後

図12. 10秒後

にはね返り、左右に広がり始めている。10 秒後の写真では、容器の両端に達していることがわかる。

これらのことより流速 20 ml/min では、実験開始直後は縦に広がり、時間が経つにつれて容器の底から広がっている様子がわかる。

図 8～図 12 の写真より、実験開始後 4 秒後までは容器の中心に広がっていることがわかる。また、6 秒後では容器の底、端に広がり始めている。8 秒後、10 秒後では、容器の底、端まで広がり容器の全体に広がっていることがわかる。これらのことより、流速 25 ml/min では容器の中心から広がり、容器全体に広がっていくことがわかる。

(3) 流速 30 ml/min の場合

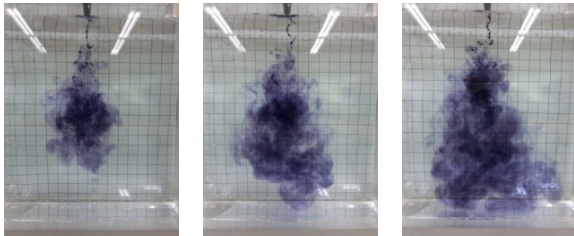


図 13. 2 秒後 図 14. 4 秒後 図 15. 6 秒後

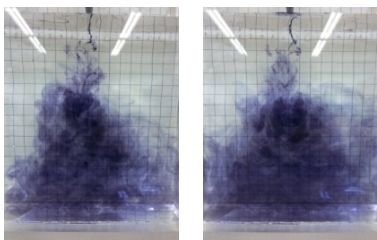


図 16. 8 秒後 図 17. 10 秒後

図 13～図 17 の写真より、流速 25 ml/min と同様に実験開始後 4 秒後までは容器の中心に広がっていることがわかる。6 秒後では、中心から容器の底に広がっていく様子がわかる。また、8 秒後、10 秒後では容器の底にはね返り、容器の底から広がっていく様子がわかる。

これらのことより、流速 30 ml/min では実験開始直後は容器の中心に広がり、その後容器の底から広がっていくことがわかる。

3. 実験 2

実験 1 では、水中での水の動きを見ることが出来たため、次に砂内の流量測定を行うことにした。実験を行うにあたり、実験装置を作製することから始めた。実験装置の底面に穴を開け、砂を通った水が

流れるように設計を行い、作製した。砂を通して出てきた水の流量の測定を行うことにした。

3.1 実験装置

厚さ 2 mm、高さ 80 mm の円筒状アクリル材を直径 20 mm、40 mm、60 mm、80 mm、100 mm の 5 種類用意した。それらを厚さ 10 mm、120 mm × 120 mm の正方形のアクリル板に固定した。さらに、直径 6 mm の穴をアクリル板に開け、中心から穴 1、穴 2、穴 3、穴 4、穴 5 とした。実験装置の設計図を図 18、作製した装置を図 19、装置の概要を図 20 に示す。

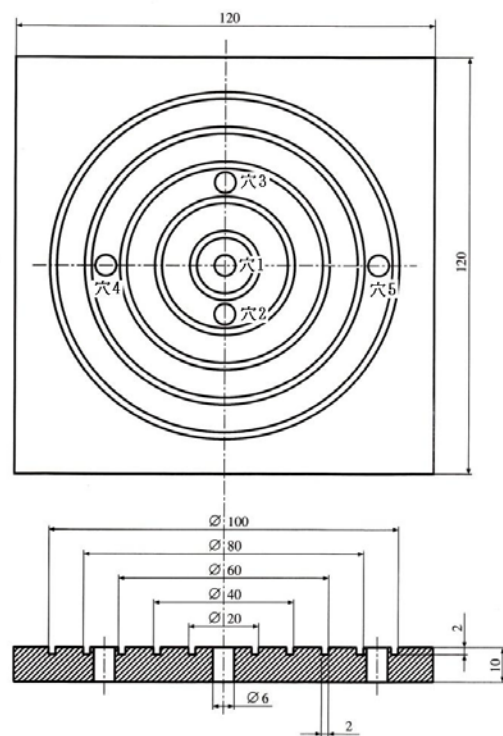


図 18. 実験装置の設計図



図 19. 実験装置本体

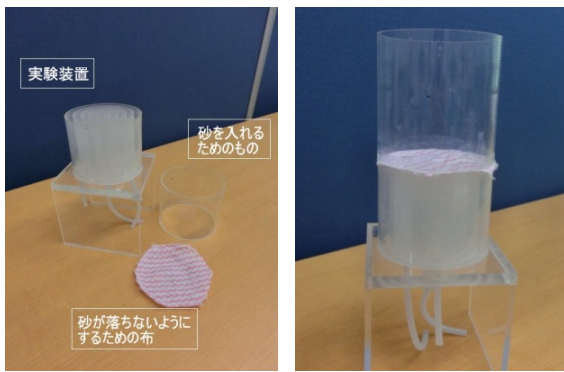


図 20. 実験装置の組み立て前と組み立て後

3.2 実験方法

装置の上から砂が落ちないように布を置き、その上に円筒状の亚克力材を置く。次に円筒の中に砂を入れ、上から水を入れる。砂は乾燥珪砂の4号を用いて乾いた砂と湿った砂の2種類を使用した。実験はそれぞれ10回ずつ、流速は20 ml/min、25 ml/min、30 ml/minで行った。ポンプは実験(1)と同様のものを使用した。実験は水が下に流れ始めてから2分間測定した。実験風景を図21に示す。

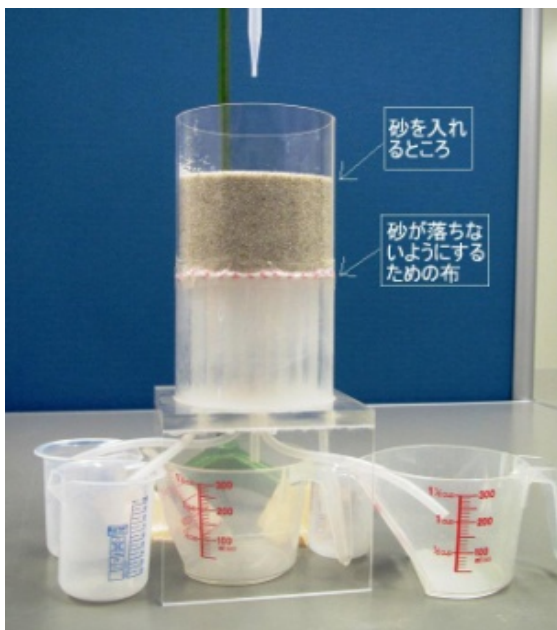


図21. 実験風景

3.3 実験結果

実験は砂の高さを10 mm、20 mm、30 mm、40 mm、50 mm、60 mmに設定し、乾いた砂および湿った砂でそれぞれ行ったが、ここでは例として乾いた砂(砂の高さ30 mm)で行った実験について語る。その実験の様子を図22～図39に示す。

(1) 流速 20 ml/min の場合

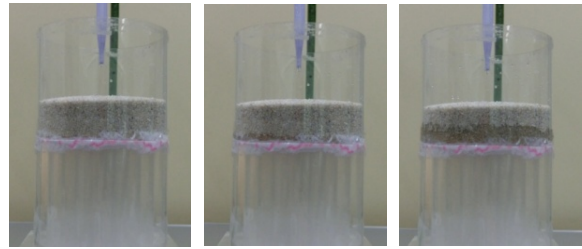


図 22. 100 秒 図 23. 140 秒後 図 24. 180 秒後

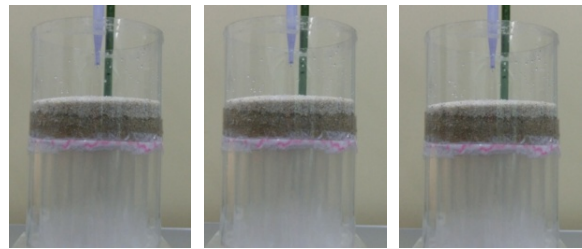


図 25. 220 秒 図 26. 260 秒後 図 27. 300 秒後

図22～図27より流速20 ml/minの場合、実験開始後100秒で水が砂に浸透し始め、その後実験開始後279秒後に水が下に流れ始めた。水が流れ始めてから2分間観察を続けても、砂に水が浸透する高さは変わらなかった。

(2) 流速 25 ml/min の場合

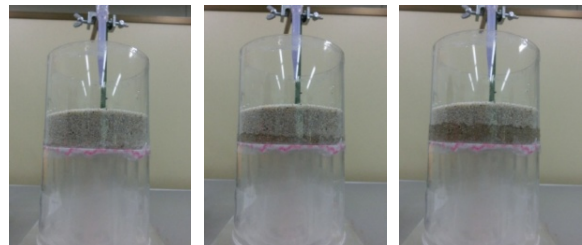


図 28. 100 秒 図 29. 140 秒後 図 30. 180 秒後

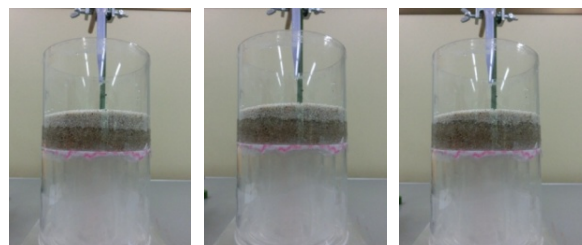


図 31. 220 秒 図 32. 260 秒後 図 33. 300 秒後

図28～図33より流速25 ml/minの場合、実験開始後80秒で水が砂に浸透し始め、その後実験開始後250秒後に水が下に流れ始めた。水が下に流れ始

めても少しずつ砂に浸透していった。しかし、実験終了時には砂すべてに浸透はしていなかった。

(3) 流速 30 ml/min の場合

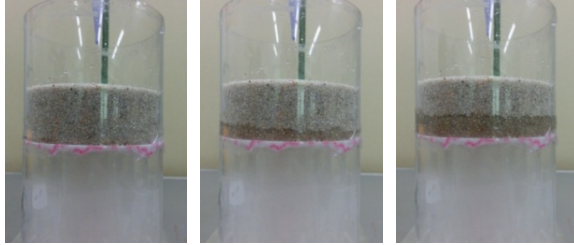


図 34. 100 秒 図 35. 140 秒後 図 36. 180 秒後

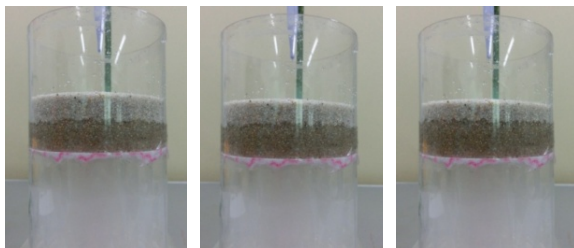


図 37. 220 秒 図 38. 260 秒後 図 39. 300 秒後

図 34～39 より流速 30 ml/min の場合、実験開始後 70 秒で水が砂に浸透し始め、207 秒後には水が下に流れ始めた。流速 25 ml/min と同様に水が下に流れ始めても少しずつ砂に浸透していった。しかし、実験終了時には砂すべてに浸透はしていなかった。

表 2 : 流速 20 ml/min での実験結果

	砂の高さ [mm]	穴 1 [m]	穴 2 [m]	穴 3 [m]	穴 4 [m]	穴 5 [m]	合計 [m]	時間 [s]
乾いた砂	10 mm	26.8	0	0	0	0	26.8	50
	20 mm	7.6	8.7	23.6	1.7	7.9	49.9	207
	30 mm	9.2	16.6	14.9	3.9	9.2	53.8	279
	40 mm	4	5.9	19	4.2	8.1	41.2	248
	50 mm	6.7	19.5	9.5	6.5	5.6	47.8	244
	60 mm	7.4	6.6	14.8	1.8	10.9	41.5	246
湿った砂	10 mm	30.8	0	0	0	0	30.8	32
	20 mm	10.5	14.2	26	7.1	3.5	61.3	144
	30 mm	4.8	4.3	41.1	6.7	11.4	68.3	178
	40 mm	5.6	23.3	31.9	3.7	4.5	69	190
	50 mm	8.7	19.5	9.5	6.5	5.6	49.8	265
	60 mm	10	27.5	15.7	4.4	13.2	70.8	238

実験結果を表 2～4 に示す。表はそれぞれの実験を 10 回ずつ行い、平均を求めてまとめたものであ

る。表に示している時間は実験を開始してから水が下から出てくるまでの時間を示している。

表 3 : 流速 25 ml/min での実験結果

	砂の高さ [mm]	穴 1 [m]	穴 2 [m]	穴 3 [m]	穴 4 [m]	穴 5 [m]	合計 [m]	時間 [s]
乾いた砂	10 mm	37.3	17.4	1.5	0	0.8	57	93
	20 mm	19.5	8.6	15.6	0.2	8.1	52	174
	30 mm	21.8	10.5	26.4	0.3	11.1	70.1	250
	40 mm	10.8	6.3	20.8	1.2	8.4	47.5	230
	50 mm	10.8	11.5	6.8	1.6	10.6	41.3	245
	60 mm	3.9	23.8	21.5	1.8	7.7	58.7	183
湿った砂	10 mm	27.5	7.6	17.1	1.3	4	57.5	59
	20 mm	38.7	9.3	0	3.3	9.6	59.9	79
	30 mm	51	6.2	0	0	8.1	65.3	148
	40 mm	20.6	42.4	6.9	5.1	10.7	85.7	193
	50 mm	29.4	3.4	36.7	1.3	6.8	77.6	189
	60 mm	5	10.3	53.4	3	9.4	81.1	193

表 4 : 流速 30 ml/min での実験結果

	砂の高さ [mm]	穴 1 [m]	穴 2 [m]	穴 3 [m]	穴 4 [m]	穴 5 [m]	合計 [m]	時間 [s]
乾いた砂	10 mm	52.3	8.8	0.5	0	0.2	61.8	80
	20 mm	42.2	8.6	5	4.6	4	62.4	122
	30 mm	47.3	24.4	0	0	0	66.5	207
	40 mm	14.1	12.4	29.5	9	6.5	71.5	216
	50 mm	9.5	4.1	51.2	6.3	11	82.1	209
	60 mm	17.3	14.2	31.7	0.9	7.5	71.6	215
湿った砂	10 mm	39.7	13.8	11.6	1	4.7	70.1	60
	20 mm	33.3	30.1	12.6	0	0.5	76.5	90
	30 mm	29.5	14.6	12.2	6.7	10.8	68.5	107
	40 mm	20.6	42.4	6.9	5.1	10.7	85.7	168
	50 mm	15.9	10.9	50	3.8	4.8	85.4	120
	60 mm	2.8	4.9	64.1	11.9	15.5	99.2	163

4. まとめ

4.1 実験1

モデル 1 を使用した時は、すべての流速で容器の底から広がり、その後容器全体に広がっていく様子を観察することが出来た。また、流速が速くなるにつれ、容器全体に早く広がることわかった。

モデル 2 を使用した時は、流速 20 ml/min、25 ml/min では容器の中心から渦を巻くように容器全体に広がることわかった。流速 30 ml/min では容

器の底から広がりその後容器全体に広がる様子を観察できた。

モデル 3 を使用した時は、流速 20 ml/min では容器の中心から底まで縦に広がり、その後容器の底から全体に広がる様子を観察することが出来た。流速 25 ml/min、30 ml/min では容器の中心から広がり、その後容器全体に広がっていくことがわかった。

モデル 4 を使用した時は、すべての流速で容器の下半分に広がり、容器の上半分には広がらなかった。

以上のことから流速 25 ml/min が容器の大きさに関係なく、容器全体に広がるということがわかった。

4.2 実験 2

流速 20 ml/min の乾いた砂は、砂の高さ 10 mm では中心の穴からのみ水が流れていないことがわかった。砂の高さ 20 mm から 60 mm では穴 2、穴 3 から多くの水が流れていることがわかった。湿った砂でも同様のことが言える。また、合計の流量を比較すると、すべての砂の高さで湿った砂の方が多く流れることがわかった。

流速 25 ml/min の乾いた砂は、中心に近い穴 1、穴 2、穴 3 から多くの水が流れている。湿った砂でも同様のことが言える。また、砂の高さ 30 mm の時を除いて湿った砂の方が多く水が流れていた。

流速 30 ml/min では、流速 25 ml/min と同様のことが言える。ただし、出てくる水は湿った砂の方が多く流れていた。

以上のことから流速に関係なく中心に近い穴ほど、多くの水が流れることがわかった。

5 考察

5.1 実験 1

容器が小さくなると流速に関係なく、容器の底や側面にはね返ることで容器全体に広がっていくと考えられる。流速が速くなるにつれ、容器の底に届くことで容器の底から広がっていくと考えられる。また、速度が遅くなると容器の底まで届かないため、中心から広がるということが考えられる。穴を開けた容器では流速に関係なく容器の底のみに広がっていることから、容器全体に広がる前に穴から流れるため、容器全体に広がらなかったと考えられる。

5.2 実験 2

砂の高さが低いと砂の中心が水の勢いで穴が開き、中心の穴から多くの水が流れることが考えられる。砂を高くしていくと砂の中で水が広がることで、中

心よりも外側に近い穴 3 から多くの水が流れることが考えられる。

実験 1 で水中内の水の動きを観察した結果と実験 2 の砂内の流量を比較すると実験 1 では中心の方が着色水の色は濃く、外側に行くほど色は薄くなっていた。実験 2 では中心の穴に近い方が多くの水が流れていたため、2 つの実験は共通していたということが言えた。

参考文献

- [1] 猪迫耕二 「応用土壌物理学」 29, (2005 年)
- [2] 『農業工学』ウィキペディア フリー百科事典 <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%BE%B2%E6%A5%AD%E5%B7%A5%E5%AD%A6>
- [3] 西山哲男 『流体力学 (1)』 日刊工業新聞社 1, 4, (1974 年)
- [4] 森田泰司 『流体の基礎と応用』 東京電気大学出版局 77, (1997 年)
- [5] 『エネルギー工学』 ウィキペディア フリー百科事典 <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%A8%E3%83%8D%E3%83%AB%E3%82%AE%E3%83%BC%E5%B7%A5%E5%AD%A6>
- [6] 『土壌』 ウィキペディア フリー百科事典 <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%9F%E5%A3%8C>