

# 万博会場内での水面等による気温低減効果調査

Study on the temperature-lowering effect of water surfaces at the Aichi Expo site

岐阜分室 主任研究員 浅野 智仁  
岐阜分室 室長 大竹 良昌

近年、都市部においては、地表面への日射による貯熱と排気熱によってヒートアイランド現象が生じている。その原因として、気温の上昇を防ぐ森林緑地や水面の機能が低下していることが言われている。

そのため、緑地・水面空間をより多くすることで、自然がもつ温度調節機能をうまく利用し、快適で住みやすい環境を創出することが必要である。

本研究では、愛知万博に中部地方整備局が出展した水循環実験施設内の2測点（一般部と水面影響部の2カ所）に気象観測装置を設置し、データを収集して水面等による気温の低減効果を検証、評価した。

キーワード：ヒートアイランド、気温低減効果、水面、愛知万博、水循環実験施設

In recent years, the heat island effect caused by the heat stored in the ground and released back into the atmosphere has been observed in urban areas. The cause of the heat island effect is said to be degradation in the function of forests, green lands and water surfaces that prevent temperature rises.

It is therefore necessary to increase green lands and water surface area in order to make effective use of the temperature adjustment function of nature and create a comfortable, better living environment.

In this study, meteorological observation instruments were installed at two measurement points (a typical location and a water-surface-affected location) in the hydrological cycle experiment facility exhibited at the Aichi Expo by the Chubu Regional Development Bureau, and the temperature-lowering effect of water surfaces was verified and evaluated by using collected observation data.

*Key words : heat island, temperature-lowering effect, water surface, Aichi Expo, hydrological experiment facility*

## 1. はじめに

近年都市部では、地表面への日射による貯熱と排気熱によって、ヒートアイランド現象が生じている。これは、太陽エネルギーを水の気化熱（潜熱）に変換し、気温の上昇を防ぐ森林緑地や水面の機能が低下しているからで、緑地や水面空間をより多くすることで、自然がもつ温度調節機能をうまく利用し、快適で住みやすい環境を創出することが必要である。

本研究では、水面等の持つ機能を調査するための実験施設を愛知万博会場に設置し、水面等による気温の低減効果を数値データを用いて検証した。

また、温度の低減効果を人の感覚<暑い、涼しい、過ごしやすいなど>で評価するために、気温・湿度の測定値から人が感じる指標に置き換え、不快指数という値を算出し、水面等による快適性の向上についても検証を行った。

## 2. 観測位置と概要



図一1 愛知万博会場位置図・全体図

データ観測は、愛知県愛知郡長久手町の愛知万博会場内で国土交通省中部地方整備局河川部と公募企業が共同出展した水循環実験施設「くねくね体験散歩道」で実施した。観測地点は2箇所、1箇所は会場内の平均的なデータとして測定する場所”園路”とし、気温、湿度、雨量、蒸発量を測定する。もう1箇所については、水面空間の温度調整機能を測定する場所として”水辺”（湧水池隣接地）とした。

実験に使用した水は、会場内にある「はす池」の水を水道基準を満足することができる高度処理したものを使用した。ちなみに、この処理は飲料水に適することが立証できた。

表一1 観測地点の気象観測項目

観測地点	観測項目	データ間隔
水辺（水面空間） （湧水池隣接地）	気温、相対湿度	10分間隔
園路	気温、相対湿度、 蒸発量、雨量	10分間隔

観測期間：平成17年3月25日～9月25日（185日間）



写真一1 くねくね体験散歩道内観測2地点

## 3. 観測結果の整理方針

### 3-1 観測結果の取り扱い

水は気体になるときに周囲の熱（気化熱）を奪い気温を低減させる効果があり、その水の気化熱による効果で、園路に比べ水辺の気温が低減されることが予想された。

しかし、実験結果は、図-2のとおり観測期間を通じて園路より水辺の気温の方が高くなる結果となった。この原因として実験施設での風向きの影響が考えられる。

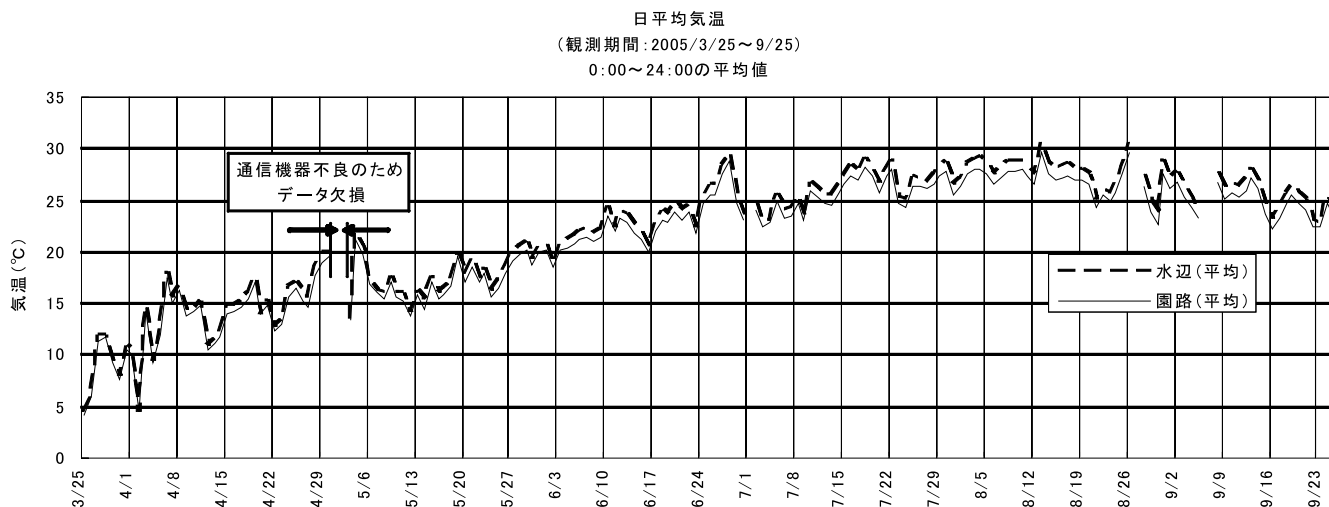


図-2 観測地点(園路・水辺)における日平均気温の時系列

図-3に本実験の観測ポイントの位置図、図-4に実験施設に隣接する「愛・地球広場」における日平均風向の時系列を示す。当観測ポイントでは実験期間を通じて南からの風が吹いていることが分かる。このことから、本実験施設でも南向きの風が吹いていたのではないかと想定される。

風が南から吹いていたと仮定すると、水辺観測値点は水辺(湧水池)より風上側に位置していることになり、水辺(湧水池)の気化熱が、水辺観測装置とは反対方面(園路)に移流され、結果として気温低減効果が水辺観測地点に反映されなかったのではないかと考えられる。

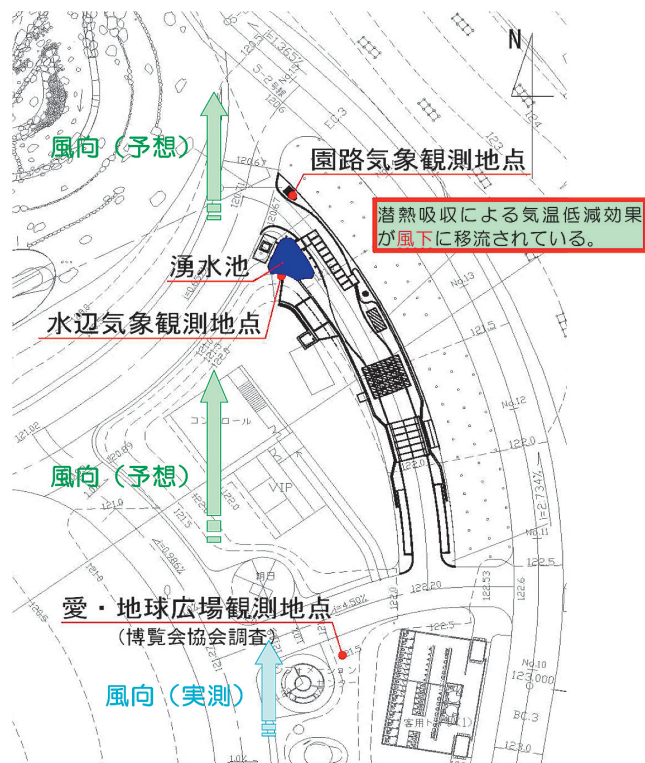


図-3 観測地点(園路・水辺)位置図と風向の関係

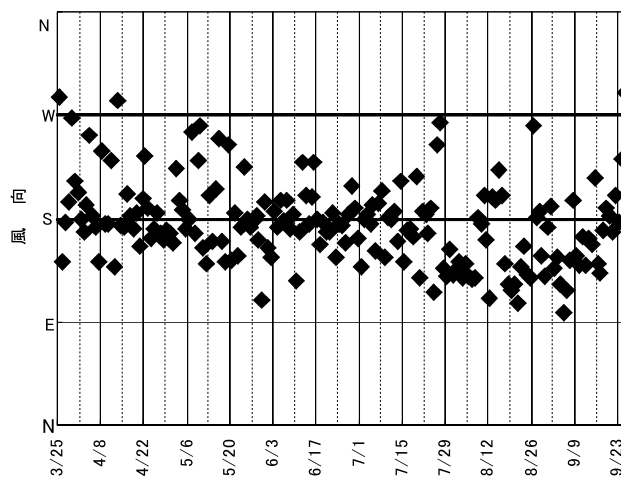


図-4 愛・地球広場での日平均風向の時系列

また、図-5の水辺と園路の湿度を比較すると園路の方が水辺より高くなる傾向を示しており、このことから上述の移流現象が推測される。

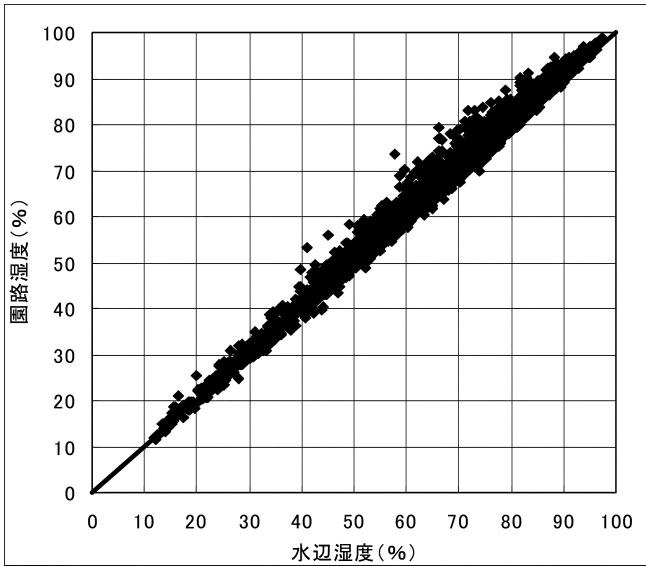


図-5 水辺と園路の同時刻の湿度関係

以上より本実験結果の解析に当たっては、水辺観測結果を一般部、園路観測結果を水面影響部として取り扱うこととした。

園路	→	水面影響部
水辺	→	一般部

### 3-2 実験結果のとりまとめ方針

#### (1) 気象観測データの整理

時系列図を作成し、各観測地点の長期的変動及び季節的変動を把握する。また、日平均、月平均等の統計処理を行い観測データの整理を行う。

#### (2) 水の気温低減効果についての検証

##### ・水面効果

水面空間のデータを観測した”水面影響部”及び平均的な会場のデータを観測した”一般部”を比較することで、”水”の気温低減効果について検証を行う。

##### ・降雨（にわか雨）による効果

夏季の夕方に発生する突発的なにわか雨は、天然の”打ち水”と捉えることができる。このにわか雨による気温低減効果について検証を行う。

##### ・快適性の評価

人間が感じる快適性の指標として、気温と相対湿度から算出される不快指数という指標がある。2観測地点の不快指数を算出し、“水”の快適性の改善効果について評価を行う。

- |   |                 |
|---|-----------------|
| ○ | 気象観測データの整理      |
| ○ | 水の気温低減効果についての検証 |
| ○ | 快適性の評価          |

## 4. 気象観測データの整理

### 4-1 気温

図-2の日平均気温の時系列より、万博開幕時日平均気温は10℃前後と低いが、期間の経過と共に徐々に増加し、8月初旬から中旬にかけて約27～28℃程度まで上昇した。その後、盆過ぎから徐々に低下し、万博閉幕時では、約22～23℃であった。万博開始時から4月末までの約1ヶ月間は冬から春への季節の移行時期であることから日平均気温の変動が大きい。

観測地点の違いに着目すると、観測期間全体を通じて、一般部が水面影響部より0.3～1.0℃程度気温が高い結果となった。（表-2）

### 4-2 湿度

日平均湿度は、水面影響部及び一般部は日毎の変動幅が非常に大きい、長期的な湿度の変動として冬から春、春から夏にかけて上昇し、夏から秋にかけて減少していく傾向が見られる。

観測地点の違いに着目すると、観測期間全体を通じて、一般部が水面影響部より1ポイント程度湿度が低い結果となった。（表-3）

日毎の変動幅が大きく変動する時と、降雨が観測された時がほぼ一致していることから、降雨によって大気中の水分量が増加し、湿度上昇が起きていると考えられる。

### 4-3 降雨量

期間中の総降雨量は500mm程度であった。3月と9月を除き毎月の雨量は70～130mm程度であり、会期を通じて少雨傾向であった。（表-4）

その中でも、7月4日の日降雨量69mmは、実験期間中で突出していた。この日は中部地方に梅雨前線が停滞しており、その梅雨前線上の低気圧が日本海側を進み、北陸、東海、甲信で局地的な激しい雨をもたらした。気象庁自動観測データ（AMeDAS）の万博会場近辺（名古屋、豊田、小原）でも70mm程度の日降雨量が観測されていた。

表-2 観測地点別 月別平均気温一覧表 (単位:度C)

月	3 (*1)	4	5	6	7	8	9 (*2)	全期間
一般部(a)	9.01	14.79	17.87	23.46	26.44	27.67	25.76	22.29
水面影響部(b)	8.67	14.22	17.22	22.67	25.58	26.69	24.78	21.50
差(a)-(b)	0.34	0.57	0.65	0.79	0.86	0.98	0.98	0.79

表-3 観測地点別 月別平均湿度一覧表

月	3 (*1)	4	5	6	7	8	9 (*2)	全期間
一般部(a)	58.97	58.14	64.63	72.09	73.12	71.33	72.10	68.35
水面影響部(b)	59.61	58.99	65.63	73.62	74.66	72.43	73.25	69.53
差(a)-(b)	-0.64	-0.85	-1.00	-1.53	-1.54	-1.1	-1.15	-1.18

表-4 水面影響部の月別降雨量一覧表 (単位:mm)

月	3 (*1)	4	5	6	7	8	9 (*2)	合計
降雨量	22.0	90.0	91.5	83.0	129.0	73.0	11.0	499.5

(\*1) 3 / 2 5 ~ 3 1 間のデータ

(\*2) 9 / 1 ~ 2 5 間のデータ

#### 4-4 蒸発量

図-6に10分間降雨量及び、蒸発量計水位の時系列を示す。実験期間を通じて蒸発量水位は点線勾配(約3mm/日)で減少していることが分かる。ただし、8月4日~8月26日の間は水位減少勾配が、約0~-0.5mm/日と非常に緩くなっているが、人為的ないたずらではないかと予想される。

表-5に月別の積算蒸発量及び日平均蒸発量を示す。万博開幕当初は3mm/日程度であったが、5月にかけ

て4.8mm/日程度まで上昇し、その後は減少していく結果となった。実験期間通じての平均日蒸発量は3.8mm/日程度であった。

ただし、8月の日平均蒸発量は2mm/日弱と非常に低くなっているが、前述でも述べたように人為的ないたずら等データの信憑性が疑わしく、実際の蒸発量は本観測値より多く、傾向的に4mm/日程度は蒸発していると予想される。

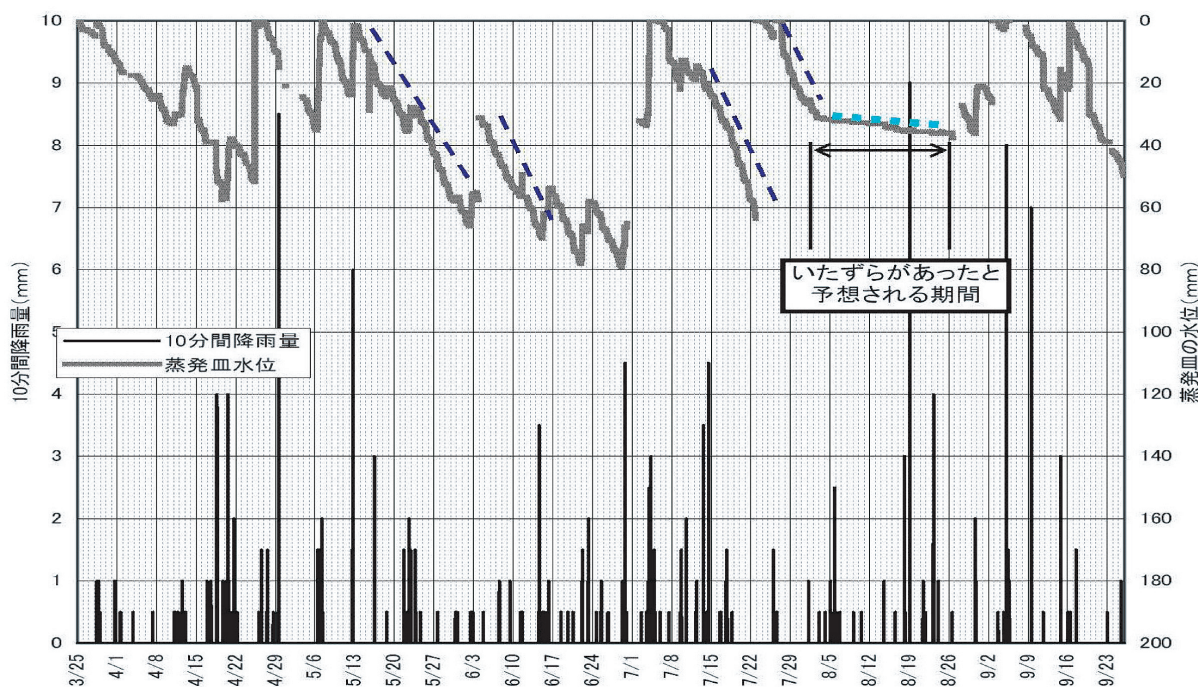


図-6 10分間降雨量と蒸発量計水位の時系列

表-5 月別の積算蒸発量及び日蒸発量一覧表 (単位: mm)

月	3 (*1)	4	5	6	7	8	9 (*2)	合計
積算蒸発量	18.5	117.4	147.3	140.3	131.2	59.2	71.6	685.5
日平均蒸発量	3.08	3.91	4.75	4.68	4.37	1.97	3.25	3.83

(\*1) 3 / 25 ~ 3 1間のデータ

(\*2) 9 / 1 ~ 2 5間のデータ

## 5. 水の気温低減効果の検証

### 5-1 水辺の効果

水辺は、水面からの蒸発効果によって、周囲の空気から気化熱を吸収するためその周辺の空気は冷やされることが予想される。図-7に水面影響部と一般部、との日平均気温差の時系列を示す。

実験期間を通して、水面影響部は一般部より気温が低く、その気温差は、万博開幕当初では0.4℃程度の差であったが、外気温の上昇と共に気温差も大きくなり、7月中旬から9月中旬までの夏季2ヶ月間は平均1.0℃程

度の気温差が認められた。

図-8に水面影響部と一般部における気温差の日変化を示す。これより、日中の高温時に気温差が大きくなり、夜間や朝方の低温時に気温差が小さくなること分かる。この傾向は季節の変化に関わらず同様であるが、気温差の絶対値は外気温の上昇（季節の移り変わり）と共に大きくなっている。この気温低減量の増加は、気温上昇に伴う蒸発量の増加で、気化熱が増大したことに起因していると考えられる。

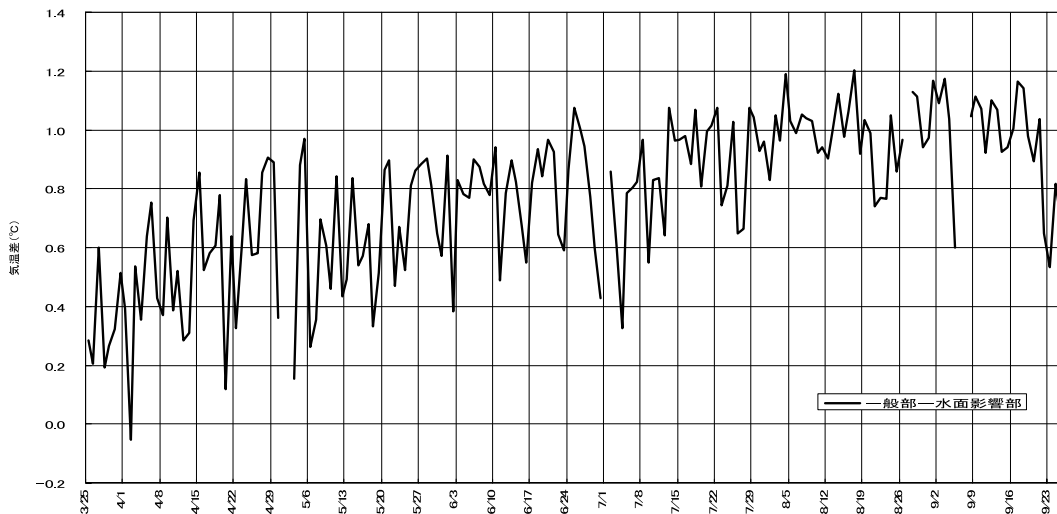


図-7 水面影響部と一般部の日平均気温差の時系列

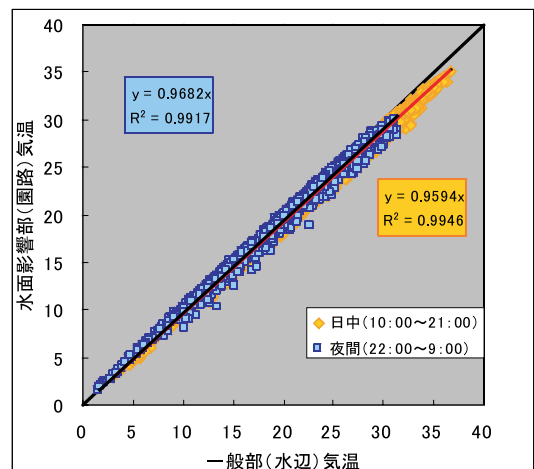
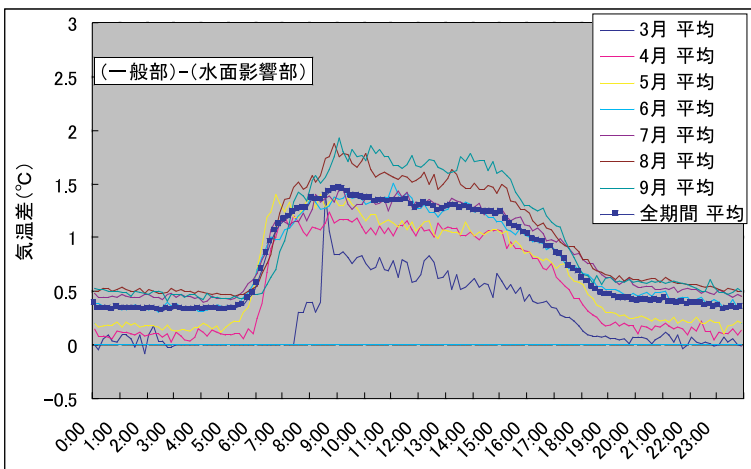


図-8 水面影響部と一般部との気温差の日変化

## 5-2 降雨の効果

にわか雨は、よく晴れた日の夕方に発生することが多く、日中に暖められた空気を冷やす言わば、天然の打ち水と捉えることができる。ここでは、実験期間中の観測結果から降雨による気温低減効果について事例報告を行う。

図-9は、降雨（にわか雨）発生日（9/4、9/14）における10分間降雨量と当日の気象因子（気温、湿度）の時系列及び、降雨発生日付近の晴天日（9/2、9/12・13）の気象因子（気温、湿度）の変動を表したものである。

これらの日には、日中の気温が30℃程度付近まで上昇する真夏日であったが、夕方に短時間降雨が観測された。その総降雨量は9/4では、2時間で3.0mm、9/14では50分間で6.0mmであった。また、両日共に、降雨の降り出しと同時に、約5℃～7℃急激に気温が低下し、湿度は35%程度増加した。この気温低下現象は、初期降雨時には大きく反応するが、その後の連続的に降る降雨にはそれほど反応していなかった。

このことから、上記のように急激な温度変化が起こった原因は、日中の太陽からの放射熱によって気温が上昇し、空気が乾燥していた状態に、冷たい雨が降ることによって、瞬間的に大きな潜熱が発生し空気が冷

やされ湿度が上昇したためであると考えられる。

しかし、同様ににわか雨が発生した日であっても、気温低下現象が発生しない日もあり、気温低下効果は、その他の気象因子にも依存するものと推測される。

## 5-3 水辺の快適性の評価

人間が感じる快適性の評価については、本研究では気温と相対湿度から決定される不快指数と言われる指標を用いる。

不快指数とは、次式で表される値である。

$$\text{不快指数 (DI)} = 0.81T + 0.01U (0.99T - 14.3) + 46.3$$

T：気温（℃）、U：相対湿度（%）

体感温度は、気温どおりではなく、「気温」・「湿度」・「風」の3要素に左右される。不快指数はこの中の「気温」と「湿度」を組み合わせて数値で表わしたものである。日本人の場合、不快指数が77になると65%の人が、85になると93%の人が暑さによる不快を感じるといわれている。ここでは、表-6のとおり不快指数70を理想値と定義する。

表-7は、水面影響部と一般部における不快指数差（実測値と理想値との差）の月別平均差分値を表したものである。冬から春にかけての気温が低い時期は、不快指数差が負となるが、気温の上昇と共に負の差分

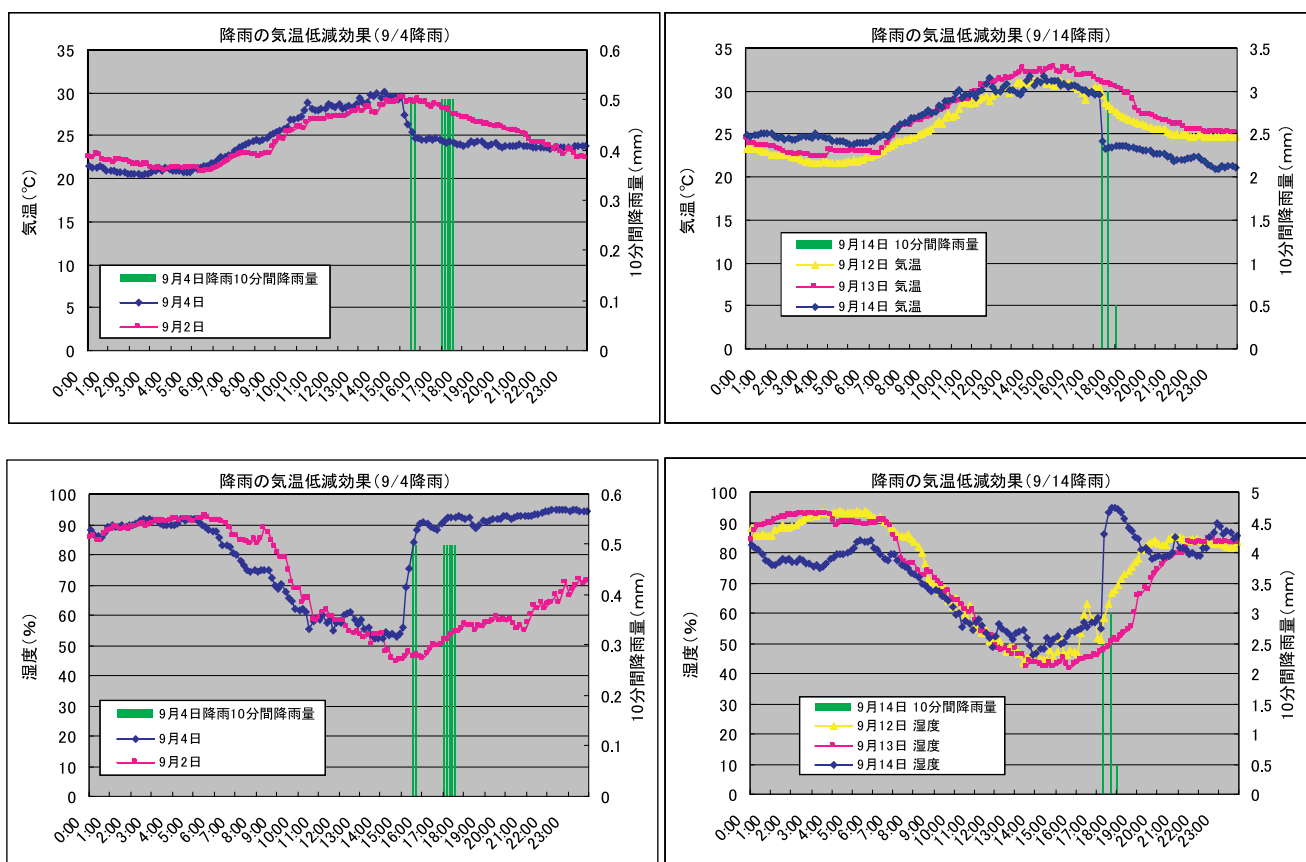


図-9 にわか雨発生日及び晴天時における気温、湿度、10分間降雨量の時系列（園路観測地点データ）

表-6 人間の感覚と不快指数の関係

不快指数	55以下	55～60	60～65	65～75	75～80	80～85	85以上
指標	寒い	肌寒い	何も感じない	快適	不快感を持つ人が出始める	半数以上の人が不快	全員不快

表-7 月別平均不快指数差 (実測値-理想値)

月	3	4	5	6	7	8	9	全期間(絶対値)
一般部(a)	-19.86	-12.25	-7.85	-4.08	5.99	7.72	5.08	7.54
水面影響部(b)	-20.34	-12.91	-8.53	-3.71	4.95	6.48	3.97	7.17
差(b)-(a)の絶対値	0.48	0.66	0.68	0.37	1.04	1.24	1.11	0.37

値は小さくなり、6月中旬に差がなくなる。

冬から春(3月～4月)の比較的気温の低い時期における不快指数差の絶対値は比較的大きな値となる。これに対し、気温の高い夏(5月～9月)の不快指数差の快適な期間が長くなる。

また、一般部と水面影響部の月別平均不快指数差を比較すると、水面の影響による不快指数改善量は多くて1ポイント程度であった。

## 6. おわりに

今回の実験施設は、万博会場の中心部のセンターゾーンに位置し、万博開幕中は約200万人の入場者に気象観測装置や実験を見ていただいた。しかし、水による気温低減効果については数値的にも大きな差がないため、体感としては実感してもらうことはできなかった。

解析結果としては、6ヶ月間の長期の連続した観測データに基づき、水面や降雨の効果が微少であるが実証できたと考えている。

実験の改善点として、万博の全体計画に制約されて実験施設敷地の制限があり、遊水池の面積が十分取れなかったことがあげられる。

最後に、本研究の実施にあたり国土交通省中部技術事務所および中部大学教授の松尾教授、大同工業大学の久保田教授、名城大学の原田教授及び井上千保子インテリアデザインスクールの井上代表からいただいた多大なご指導に対して、深く感謝申し上げます。